

VTT Technical Research Centre of Finland

Selvitys ja tiekartta Vuosaaren sataman työkoneliikenteen päästövähennyksille

Söderena, Petri; Nylund, Nils-Olof; Pettinen, Rasmus; Muona, Tommi; Markkanen, Johanna; Paakkinen, Marko; Similä, Lassi; Koljonen, Tiina; Sokka, Laura; Pihlatie, Mikko

Published: 25/03/2021

Document Version
Publisher's final version

[Link to publication](#)

Please cite the original version:

Söderena, P., Nylund, N.-O., Pettinen, R., Muona, T., Markkanen, J., Paakkinen, M., Similä, L., Koljonen, T., Sokka, L., & Pihlatie, M. (2021). *Selvitys ja tiekartta Vuosaaren sataman työkoneliikenteen päästövähennyksille*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Asiakasraportti No. VTT-CR-01565-20



VTT
<http://www.vtt.fi>
P.O. box 1000FI-02044 VTT
Finland

By using VTT's Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.




Selvitys ja tiekartta Vuosaaren sataman työkoneliikenteen päästövähennyksille

Kirjoittajat:

Petri Söderena, Nils-Olof Nylund, Rasmus Pettinen, Tommi Muona, Johanna Markkanen, Marko Paakkinen, Lassi Similä, Tiina Koljonen, Laura Sokka, Mikko Pihlatie

Luottamuksellisuus:

Julkinen

Raportin nimi		
Selvitys ja tiekartta Vuosaaren sataman työkoneliikenteen päästövähennyksille		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot		Asiakkaan viite
Helsingin kaupunki / Kaupunkiympäristön toimiala / Ympäristöpalvelut		HNRY-hanke
Projektin nimi		Projektin numero/lyhytnimi
Vuosaaren sataman työkoneliikenteen päästövähennyksiä koskeva selvitys ja tiekartta		
Tiivistelmä		
<p>Tämän työn tavoitteena oli tuottaa selvitys ja tiekartta Vuosaaren sataman työkonelogistiikan hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi 60 %:lla vuoteen 2035 mennessä vuoden 2015 tasoon nähden. Työn aikana suoritettiin avaintoimijahaastatteluita Helsingin Satama Oy:lle (jatkossa Helsingin satama), keskeisille satamaoperaattoreille, työkonvalmistajille sekä Göteborgin satamalle. Työn aikana muodostettiin laskentamalli työkonien CO₂-päästöjen ja kokonaiskäyttökustannusten arvioimiseksi. Hyödyntämällä laskentamallia saatiin eri työkonien CO₂-päästöille arvio. Lukit ja terminaalitraktorit kattavat arvion pohjalta yhteensä yli kolme neljäsosaa kaikista CO₂-päästöistä. Lisäksi arvion pohjalta olisi akkusähköisillä lukeilla saavutettavissa merkittävät kokonaiskustannussäästöt suhteessa moottoripolttoöljyn käyttöön. Mikäli vuoden 2035 CO₂-päästöjen vähentämistavoite toteutettaisiin puhtaasti uusiutuvalla moottoripolttoöljyllä, tulisi tämä maksamaan noin 1 milj. euroa vuositasona olettaen, että polttoaineenkulutus olisi vuonna 2035 samalla tasolla kuin vuonna 2019.</p> <p>Keskeiseksi toimenpiteeksi päästötavoitteen saavuttamiseksi ehdotetaan pilotointihankkeen käynnistämistä. Pilotointihankkeen keskeinen tavoite olisi madaltaa operaattoreiden kynnystä siirtyä täyssähköisiin työkonisiin sekä ottaa käyttöön uusiutuvaa moottoripolttoöljyä ja sitä kautta oppia uusien teknologioiden käyttöä sekä operointimallien kehittämistä niillä operoimiseksi. Hankkeen aikana pilotoitaisiin operaattoreiden toimesta muutamia kappaleita keskeisimpiä akkusähköisiä työkoneita, kuten lukkeja ja terminaalitraktoreita, sekä demonstroitaisiin uusiutuvan moottoripolttoöljyn käyttöä eri ikäluokan työkonissa. Helsingin Satama vastaisi hankkeen koordinoimisesta ja pilotointiin valittujen työkonien ja latausjärjestelmien hankkimisesta. Hankitut työkonet vuokrattaisiin operaattoreille käyttöön 1–2 vuoden sopimuksilla erillisen kilpailutuksen kautta. Tarvittavat pikalataus- sekä varikkolatausjärjestelmät kulisivat työkonien mukana pilotointihankkeen aikana. Muiksi keskeisiksi kannustinkeinoiksi tavoitteen saavuttamiseksi ehdotettiin uusiutuvan polttoaineen ylimääräisen kustannuksen osittaista tai täyttä kompensointia joko suoraan tai satamamaksun kautta. Täyssähköisten työkonien osalta ehdotetaan alennusta satamamaksuun perustuen täyssähköisillä työkonilla suoritettujen kuljetustonnien suhteeseen operaattorin kuljettamiin kokonaistonneihin.</p> <p>Tämän selvityksen ja tiekartan on tilannut 6Aika-ohjelmaan kuuluva HNRY – Hiilineutraalit ja resurssivii- saat yritysalueet -hanke, joka on saanut Uudenmaan liiton myöntämän rahoituksen Euroopan aluekehitysrahastolta (EAKR).</p>		
Espoo 25.03.2021		
Laatija <i>Petri Söderena</i> Petri Söderena Tiimipäällikkö	Tarkastaja  Juhani Laurikko Johtava tutkija	Hyväksyjä <i>Jukka Lehtomäki</i> Jukka Lehtomäki Manager, Operations Support
VTT:n yhteystiedot		
VTT Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy: VTT kirjaamo, PL 1000, 02044 VTT		
Jakelu (asiakkaat ja VTT)		
Tilaaja, VTT		
<p>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>		

Esipuhe

Tämän selvityksen ja tiekartan on tilannut 6Aika-ohjelmaan kuuluva HNRY – Hiilineutraalit ja resurs-siviisaat yritysalueet -hanke, joka on saanut Uudenmaan liiton myöntämän rahoituksen Euroopan aluekehitysrahastolta (EAKR). Työn tavoitteena oli tuottaa selvitys ja tiekartta Vuosaaren sataman työkonelogistiikan hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi 60 %:lla vuoteen 2035 mennessä vuoden 2015 tasoon nähden. Toimeksiantoa varten haastateltiin keskeisimpiä toimijoita Vuosaaren satama-alueella, Göteborgin satamaa sekä työkonevalmistajia. Toimeksiannon puitteissa tehtiin laskentamalli työkoneiden hiilidioksidipäästöjen ja kokonaiskäyttökustannusten laskemiseksi. Laskentamalli julkaistaan osana työn tuloksia.

Espoo 01.03.2021

Tekijät

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
1. Vuosaaren satama toimintaympäristönä	6
1.1 Vuosaaren satamaympäristön yleiskatsaus	7
1.2 Vuosaaren sataman työkonetoiminta	8
1.3 Vuosaaren satamatoiminnan tilannekartoitus	10
1.3.1 Helsingin Sataman näkemys tulevaisuudesta	11
1.3.2 Työkonetoiminnan kehitys operaattoreiden näkökulmasta	12
1.3.3 Sähköisten voimalinjoiden investointikustannukset	13
1.3.4 Satamaoperaatioiden kehitys	13
1.4 Case Göteborg	13
2. Yleinen tilanne ja kehitys	15
2.1 Hiilidioksidipäästöjä koskeva lainsäädäntö (ylätaso)	16
2.2 Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen eri sektoreille	18
2.3 CO ₂ -päästöjen tarkastelutavat	19
2.4 Hiilidioksidipäästöjen arvottaminen	20
2.5 Ajoneuvoja ja moottoreita koskeva lainsäädäntö	22
2.6 Polttoaineita koskevat määräykset	23
2.7 Yhteenveto EU:n kasvihuonepäästöjen rajoittamiseen liittyvästä sääntelystä	25
2.8 Kansallinen biopolttoaineiden jakeluvelvoite	27
2.8.1 Jakeluvelvoitteen luonnehdinta	27
2.8.2 Velvoitetasot	27
2.8.3 Jakeluvelvoitteen mahdollinen laajentaminen	31
2.8.4 Jakeluvelvoite ja korkeaseosteiset biopolttoaineet	32
2.8.5 Hintatarkastelu	33
3. Keinot vähentää työkoneiden hiilidioksidipäästöjä	36
3.1 Yleistä	37
3.2 Moottoreiden hyötysuhteen parantaminen	39
3.3 Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö	41
3.3.1 Yleistä	41
3.3.2 Kaasumaiset polttoaineet	41
3.3.3 Nestemäiset vaihtoehtoiset polttoaineet	43
3.4 Polttomoottoreita hyödyntävien työkoneiden energiatehokkuuden parantaminen	45
3.5 Koneiden varsinainen sähköistäminen	46
3.6 Polttokennoteknologian hyödyntäminen	48

4. Keinot vähentää satamatyökoneiden hiilidioksidipäästöjä	49
4.1 Keinot vähentää työkoneiden suoria hiilidioksidipäästöjä	50
4.2 Helsingin Sataman ohjaus- ja kannustinkeinot	51
4.2.1 Kannustimet uusien teknologioiden ja polttoaineiden käyttöönottoon	51
4.2.2 Investoinnit infrastruktuuriin	53
4.2.3 Hiilijalanjäljen kustannuskompensointi	55
4.2.4 Vähähiilisten käyttövoimien käytön vaatiminen	56
4.3 Satamayritysten toimenpidevaihtoehdot sekä niiden kustannus- ja päästövaikutus	56
4.3.1 Laskentamalli ja lähtötilanne	57
4.3.2 Eri käyttövoimien kustannusvaikutukset vältettyyn CO ₂ ekv-päästöön	58
4.3.3 Investointien vaikutus sataman työkoneiden päästöihin	61
4.3.4 Muut mahdolliset toimenpiteet (kuten työkoneiden käyttö, automatisointi)	62
5. Tiekartta Vuosaaren sataman työkoneiden hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi	63
5.1 Johdanto esitettyyn tiekarttaan	63
5.2 Tiekartta sisältäen tarkastelujaksot	64
5.3 Valittujen toimien puntarointi	65
5.3.1 Valitut toimenpiteet ja niiden perustelut	65
Yhteenveto ja johtopäätökset	68
Lähdeviitteet	72
LIITE A	72

1. Vuosaaren satama toimintaympäristönä

Kappaleen tiivistelmä

- **Vuosaaren sataman rahtiliikenteen ennustetaan kasvavan meriväylä uudistusten myötä merkittävästi vuoteen 2030 mennessä.**
 - Rahtiliikennekasvun aiheuttamat volyymit on huomioitava satamatoiminnan kehityksessä.
 - Lopullista ratkaisumallia ei ole vielä päätetty, eikä mitään vaihtoehtoja haluta kokonaan poissulkea.
 - Työvuorojen jakaminen, automatisointi, pitkällä aikavälillä RTG-nostureihin siirtyminen myös vaihtoehto.
- Vuosaaren satamaympäristössä on olosuhteisiin nähden erinomaiset edellytykset vaihtoehtojen käyttövoimien käyttöönottamiseksi.
 - Sähköinfra on tarkoin suunniteltu sataman rakentamisvaiheessa, minkä johdosta latauspisteiden rakentamisen valmius on kattava ja sähkönsyöttöjen kapasiteetti on erinomainen.
 - Vuosaaren satamassa on liittymämahdollisuus 10 MW:n lataukselle ja tietyin laajennuksin valmiutta on mahdollista nostaa aina 17 MW:iin asti. Lisäksi laivoihin vietävän maasähkön nykyinen enimmäisteho 2 MW on liki kolminkertaistettavissa tarpeen vaatiessa.
 - LNG-tankkausasema löytyy sataman ulkopuolelta. Tankkaus olisi todennäköisesti järjestettävissä myös satama-alueelle.
- **Operaattorit vaikuttavat olevan avoimia uusien käyttövoimien käyttöönottoon sillä edellytyksellä, että työkonetoiminnan tehokkuus ja kustannusrakenne säilyvät ennallaan.**
 - Operaattorit vaikuttavat olevan markkinatilanteesta hyvin perillä ja vaihtoehtoisia käyttövoimamuotoja on kartoitettu jo ennenkin.
- **Asiakkaiden vaikuttavuus ympäristötekijöihin on tällä hetkellä pieni, joten satamatoimintaan liittyvissä uudistuksissa tulisi huomioida kustannusten ja toiminnan kannattavuuden vaikutukset.**
- Sähköiseen voimalinjaan perustuvia Vuosaaren satamassa käytössä olevia työkonetyyppejä on saatavilla, mutta niiden investointikulut ovat polttomoottorivoimalinjaan perustuvia työkoneita korkeammat, minkä lisäksi täyssähköiseen voimalinjaan perustuvat työkoneet tarvitsevat myös investointeja latausinfrastruktuuriin.
- **Konttilaivojen operoinnissa voidaan satamaoperaatioiden osalta harkita portaalinostureiden käyttöön siirtymistä niiden helpomman sähköistämisen takia.**
- **Referenssitapaus Göteborgin satama: Göteborgin sataman operaattorit ovat siirtyneet uusiutuviin polttoaineisiin omaehtoisesti vuoden 2020 aikana. Seuraava askel uusiutuvaan polttoaineeseen siirtymisen jälkeen on työkoneiden sähköistäminen.**
 - Satamalla on kunnianhimoiset tavoitteet. Alueella toimiminen vaatii ympäristötavoitteisiin sidotun toimilupasopimuksen hyväksymisen.
 - Sataman strategia on jatkaa uusiutuvalla polttoaineella operoimista, kunnes sähkökoneiden markkinakehitys on kypsä. Arvioitu siirtymisaika n. v. 2030.
 - Göteborgin satama edistää ympäristöystävällisempää työkonetoimintaa yhdessä operaattoreiden kanssa, ja asian edistämiseksi on muodostettu ympäristölautakunta, joka tapaa kvartaalin välein.

1.1 Vuosaaren satamaympäristön yleiskatsaus

Helsingin Satama on sitoutunut itse omassa Hiilineutraali Satama 2035 -toimenpideohjelmassaan Helsingin kaupungin vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteeseen. Helsingin Satama itsessään on sitoutunut hiilineutraalisuustavoitteeseen, mutta yhtiön itsensä CO₂-päästöt ovat vain muutaman prosentin (noin 6 %) koko satamatoiminnan päästöistä. Merkittävimmät hiilidioksidipäästölähteet ovat laivaliikenne (noin 80 %), kumipyöräliikenne (noin 7 %) ja työkoneet (noin 9 %). Näihin nk. Helsingin Sataman oman toiminnan ulkopuolisiin päästöihin ei Helsingin Satamalla ole suoraa vaikutus- ja toimenpidemahdollisuutta.

Vuosaaren satama on yksi viidestä Helsingin alueen pääsatamasta, jonka läpi kulkee Suomeen sekä kansainvälistä henkilö- että rahtiliikennettä. Vuosaaren satama on alueena nuorehko ja aktiivista liiketoimintaa on harjoitettu vuodesta 2008 alkaen. Helsingin satamat (ml. Vuosaari) kilpailevat kansallisella tasolla muiden Suomen kaupunkien satamien kanssa. Helsingin satamat (Vuosaari, Eteläsatama ja Länsisatama) muodostavat yhdessä Suomen kolmanneksi suurimman satamakonaisuuden tavaraliikenteen näkökulmasta. Eteläsatama ja Länsisatama ovat pääasiassa henkilöliikennesatamia, mutta matkustajia kuljettavat autolautat ovat myös tärkeitä rekkojen kuljettajia. Vuosaaren sataman toiminta painottuu ensisijaisesti Suomen elinkeinoelämän tukemiseen tuonnin ja viennin muodossa. Sataman rahtiliikenne perustuu pääasiassa kahteen rahtiliikennetyyppiin – ns. pyöräkoneilla lastattavaan Ro-Ro-rahtiin (Roll-on/Roll-off) ja konttiliikenteeseen –, mutta satamassa käsitellään lisäksi sellu- ja puutavaraa paaleissa.

Satama-alueen omistaa Helsingin kaupunki, joka on luovuttanut alueet Helsingin Sataman (Port of Helsinki) käyttöön. Sataman toiminta perustuu ”landlord-malliin”, ts. Helsingin Satama hallinnoi, koordinoi, ohjaa ja valvoo satamassa tapahtuvaa toimintaa ja luo siten toimintaedellytykset satama-alueella työskenteleville yksityisille yrityksille. Alueella toimivat yritykset eli operaattorit puolestaan vastaavat sataman operatiivisesta toiminnasta, laivojen purkutoiminnasta ja lastaamisesta sekä muusta yleisestä logistisesta toiminnasta. Operaattorit omistavat alueelle sijoitetut rakennus- infrat sekä työkoneet ym. satamapalveluiden kannalta vaaditut peruselementit. Palveluasettelu satama-alueella on liiketoiminnan suhteen avoin tarkoittaen, että operointisopimukset kilpailutetaan operaattoreiden kesken tietyin väliajoin, ja operaattorit solmivat palvelusopimukset laivaliikennöitsijöiden kanssa. Näin alueelle syntyy vapaa kilpailuasetelma, joka ohjaa operatiivista toimintaa mahdollisimman tehokkaasti. Helsingin Sataman haastatteluiden yhteydessä kuitenkin ilmeni, että operaattoreiden kanssa solmitut landlord-sopimukset ovat tyypillisesti pitkiä, jopa kymmeniä vuosia tai ainakin toistaiseksi voimassa olevia, minkä johdosta olemassa olevien operaattoreiden liiketoiminta on oletettavasti pitkäkestoista. Vuosaaren nuoren iän ja pitkien sopimusten vuoksi yhtäkään kilpailutusta ei ole Vuosaarella toimivien operaattoreiden kesken vielä suoritettu. Toisaalta vakiintunut tilanne voi luoda mahdollisuuksia sitoutua pitemmän aikavälin kehityshankkeisiin, joissa hyötyjen syntyminen vaatii useiden vuosien määrätietoista toimintaa.

Satamaoperointi on nykyhetkellä jaettu kahdeksan operaattorin kesken. Operaattoreiden toimintamallit eivät ole yleisesti yhteneväiset, sillä osa operaattoreista keskittyy enemmän konttiliikenteeseen, toiset taas Ro-Ro-rahtitoimintaan, molempiin tai näiden lisäksi esimerkiksi sellurahtitoimintaan. Tämän vuoksi myös niiden alueellinen toiminta saattaa poiketa toisistaan merkittävästi, minkä johdosta alueittain työskentelevät työkoneytyypit, määrät ja kokoluokat vaihtelevat alueella suuresti. Alueella tällä hetkellä toimivat operaattorit ovat: Finnsteve Oy Ab, Steveco Oy, Oy M. Rauanheimo Ab, Multi-Link Terminals Ltd Oy, Oy MCY Depots Ab, Container-Depot Ltd Oy, Tallink Silja Oy ja Eckerö Line Ab Oy.

1.2 Vuosaaren sataman työkonetoiminta

Vuosaaren sataman kannalta työkoneiden käytön voi jakaa laivaoperaatioihin ja muihin operaatioihin, joista laivaoperaatiot voi jakaa vielä kahteen osaan: konttilaivojen operointiin ja Ro-Ro-laivojen (Roll-on/Roll-off) operointiin. Laivaoperaatioissa aikataulupaineet ovat huomattavia, koska laivan lasti tulee saada käsiteltyä aikataulussaan, tai muuten myöhästymisen vaikutukset heijastuvat sekä terminaalioperaattorin omiin toimintoihin että seuraavien laivan reitillä olevien satamien toimintoihin ja johtavat sataman laivaliikenteen häiriintymiseen.

Konttilaivojen operoinnissa kontit tyypillisesti puretaan laivasta STS-nostureilla (Ship-to-Shore) ja ne joko lasketaan laiturille, mistä konttilukit käyvät ne hakemassa, tai vaihtoehtoisesti kontit laskeetaan suoraan terminaalitraktorin lavetille. Konttilukkeja käytettäessä kontit voidaan viedä suoraan varastoalueelle, minne lukki voi pinota kontit, kun taas terminaalitraktoreita käytettäessä tarvitaan konttikurottajaa (tai konttipinkkaria) nostamaan kontti pois terminaalitraktorin lavetilta ja pinoamaan se varastoalueelle.

Ro-Ro-laivojen operoinnissa lavetit puretaan laivasta Ro-Ro-käyttöön suunnitelluilla terminaalitraktoreilla, jotka pystyvät omatoimisesti ja nopeasti kiinnittymään lavetteihin ja vetämään ne pois laivasta. Lavetit joko varastoidaan sellaisenaan varastoalueelle odottamaan noutoa tai viedään purettaviksi.

Muissa sataman operaatioissa työkoneita käytetään sekä konttien että irtotavaran käsittelyssä. Toisin kuin laivaoperaatiossa, jossa työkoneiden rooli on keskeinen itse toiminnalle ja niiden käyttöaste on korkea, muissa operaatioissa työkoneiden rooli on avustava ja käyttöaste vastaavasti alhaisempi.

Vuosaaren operaattoreilla on hallussaan yhteensä n. 200 työkonetta. Työkonetyyppejä on pääasiassa neljä (kuva 1): terminaalitraktorit eli ns. ”vetomestarit”, lukit, trukit ja kurottajat. Näiden työkonetyyppien alta löytyy luonnollisesti useampia eri alamalleja esimerkiksi trukikategoriassa: haarukkatrukit, vastapainotrukit jne. Työkoneiden koot vaihtelevat riippuen siitä, mihin työskentely-ympäristöön koneet on hankittu. Lisäksi alueelta löytyy muutamia muita yksittäisiä työkonetyyppejä, kuten sivuliftejä ja pyöräkuormaajia, joiden lukumäärät ovat peruskalustoon verrattuna pieniä. Näihin lukeutuvat myös mm. kiskoilla kulkevat veturit ja nosturit.

Työkoneet ovat pääasiassa dieselkäyttöisiä ja niissä käytetään nykyhetkellä ainoastaan fossiilista, työkoneisiin tarkoitettua moottoripolttoöljyä. Koneiden *kuormitusaste* ja *työmäärä* vaikuttavat vaihtelevan operaattoreiden kesken riippuen työvuorojen määrästä sekä rahtityypistä, mutta nämä parametrit pyritään kannattavuuden kannalta luonnollisesti pitämään mahdollisimman korkeina. Moni operaattori arvioi koneiden kuormitusasteen olevan keskimäärin 60–70 %:n välillä. Vuosaaressa toimivat työkoneet aiheuttavat arviolta n. 6 % sataman vuosittaisista kasvihuonekaasupäästöistä. Vuosaaren satama-alueen työkoneperäiset kokonaispäästöt on esitetty taulukossa 1.



Kuva 1: Yleisimmät työkonemat Vuosaaren satama-alueella: terminaalitraktori eli nk. vetomestari (vas. ylhäällä), satamalakki (oik. ylhäällä), haarukkatrulli (vas. alhaalla) ja konttikurottaja (oik. alhaalla).

Taulukko 1: Vuosaaren satama-alueen työkoneneperäiset CO₂-kokonaispäästöt¹.

Vuosi	CO ₂ [t]
2012	5780
2013	5620
2014	4974
2015	5344
2016	5793
2017	6693
2018	7504
2019	7602
2020	-
2021	-

¹ Lähde: Helsingin Satama

1.3 Vuosaaren satamatoiminnan tilannekartoitus

Mahdollisten satamatyökonetoimintaan kohdistettavien hiilidioksidipäästöihin vaikuttavien toimien kartoittamiseksi VTT suoritti toimeksiannon aikana haastatteluja eri avaintahojen kanssa. Vuosaaren sataman liiketoimintaan liittyen haastateltavina olivat satama-alueella toimivat keskeiset satamaoperaattorit ja Helsingin Satama. Haastatteluiden avulla pyrittiin hahmottamaan kokonaiskuva sekä kentällä operoivien tahojen että niitä ohjaavan tahon näkökulmasta, mikä mahdollistaisi yhtymäkohtien löytämisen tehokkaimman mutta samalla myös taloudellisimman toimenpidemallin luomiseksi.

Satamaympäristöön tarkoitettujen työkonoiden teknologiakehityksen havainnollistamiseksi työhön puolestaan liitettiin satamatyökonevalmistajien haastattelut. Lisäksi toimeksiannon yhteydessä haastateltiin Göteborgin satamaa, sillä se on jo kyennyt edistämään kyseisen satamaympäristön hiilidioksidipäästöjen vähentämistä esimerkillisesti.

Tämä kappale käsittelee pääasiassa satamaympäristön kehityskkeinoja työkoneliiketoimintaan pohjautuen em. haastatteluiden aineistoihin. Haastatellut yritykset on esitelty taulukossa 2. Haastatteluiden yhteenvedot ovat lisäksi tämän raportin liitteenä (LIITE A).

Taulukko 2: Toimeksiannon puitteissa haastatellut yritykset.

Taho	Toimiala
Helsingin Satama Oy	Vuosaaren sataman landlord
Göteborgin satama	Göteborgin sataman landlord
Finnsteve Oy Ab	Satamaoperaattori
Steveco Oy	Satamaoperaattori
Oy Adolf Lahti Yxpila Ab	Satamaoperaattori
Multi-Link Terminals Ltd Oy	Satamaoperaattori
Konecranes Abp	Satamatyökonevalmistaja
Kalmar	Satamatyökonevalmistaja
Royal Terberg Group	Satamatyökonevalmistaja

1.3.1 Helsingin Sataman näkemys tulevaisuudesta

Helsingin Sataman kanssa käydyt haastattelut käsittelivät suurilta osin Vuosaaren sataman tulevaisuuden kehitystä infran, rahtivirran sekä eri toimintamallien kehityspotentiaalien näkökulmasta. **Satamaan johtavia meriväyliä ollaan tällä hetkellä laajentamassa, mikä mahdollistaisi suurempien laivojen rahtiliikennöinnin Vuosaaren satamaan. Tämän johdosta arvioitiin, että rahtiliikenne tulisi kasvamaan etenkin kumipyörä- ja konttiliikenteen osalta merkittävästi seuraavan 15 vuoden aikana.** Sataman mahdollisen ruuhkautumisen ehkäisemiseksi on luonnosteltu erilaisia toimintatapojen muutosehdotuksia. Helsingin Sataman näkemyksen mukaan optimoimisessa on edelleen suurta potentiaalia satamatoiminnan sujuvuuden kannalta, eikä esimerkiksi RTG- (rubber tyred gantry crane) ja RMG (rail mounted gantry crane) -nostureihin siirtymistä haluttu sulkea pitkän aikajänteen suunnitelmista kokonaan pois. Rahtiliikenteen kasvaessa satamaoperoitien toimintaa voisi myös esimerkiksi vuorottaa hetkellisten työkoneruuhkien välttämiseksi. Lisäksi erityisesti automaation lisääntymisen nähtiin olevan tulevaisuudessa keskeisessä roolissa satamaympäristöjen operatiivisen toiminnan tehostamisessa. Kokonaisvaltaisen automaation tiedetään kuitenkin olevan niin merkittävä investointi, että tähän vaadittava investointikustannus on rahtiliikenteen volyymin lisääntymisestä huolimatta nykyhetkellä merkittävä kynnyskysymys. Sataman nuoren iän ja tämänhetkisen konekannan pitkien elinkaarien vuoksi merkittäviä muutoksia toimintatavoissa (kuten RTG-malliin siirtyminen) tuskin nähdään seuraavan vuosikymmenen aikana, sillä muutokset edellyttäisivät operaattoreiden tekemän merkittäviä investointeja ja muutoksia kalustokantaansa.

Työkoneiden teknologiakehityksen nähtiin olevan vaikeasti ennustettavissa, mutta toisaalta havaittiin, että koneiden markkinakehitys viittaa työkoneiden täyssähköistymiseen pitkällä aikajänteellä. Myös eri vaihtoehtoiset käyttövoimat puhututtivat, ja satamalla todettiin olevan jo nyt jonkin asteiset valmiudet esimerkiksi kaasupolttoaineiden, kuten LNG:n, jakelemiselle, mikäli tilanne näin vaatii. Sähkökoneiden yleistymisen on puolestaan jo otettu huomioon sataman rakentamisvaiheessa, ja sähkösyöttövalmius latausasemille on satama-alueella kauttaaltaan erinomainen, vaikkei varsinaisia latausasemia ole vielä rakennettu. Sataman sähköinfra on suunniteltu siten, ettei sähkönsyötölle nähdä muutostarpeita, vaikka sähköistyminen tapahtuisi nopealla aikataululla, sillä Helsingin Satama ei halunnut infran muodostavan pullonkaulaa vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttöönotossa. Vuosaaren satamassa on liittymämahdollisuus 10 MW:n lataukselle, ja tietyn laajennuksen valmiutta on mahdollista nostaa aina 17 MW:iin asti. Lisäksi laivoihin vietävän maasähkön nykyinen enimmäisteho 2 MW on liki kolminkertaistettavissa tarpeen vaatiessa.

Koska operaattoreiden kilpailuasetelma on tiukka ja liiketoimintaa ohjataan taloudellisin perustein, myönteisesti operaattoreiden kannattavuuteen vaikuttavat ohjauskeinot toimisivat Helsingin Sataman mukaan hiilidioksidipäästövähennysten kannalta parhaiten. Toimia, jotka nostaisivat operoimisen kustannuksia Vuosaaren satama-alueella, ei haluta eikä niitä pyritä käyttämään, sillä operaattoreiden kustannusten nostaminen vaikuttaisi suoraan satama-palveluiden kustannuksiin ja tämän kautta Vuosaaren rahtiliikenteen kannattavuuteen, mikä puolestaan vähentäisi satamaliikennepalveluiden houkuttelevuutta muiden kaupunkien satamiin verrattuna. Helsingin Sataman linjaus on, että vastuu hiilidioksidipäästöihin vaikuttavista muutoksista on ensisijaisesti operaattoreilla, sillä yritykset toimivat alueella täysin markkinaehtoisesti. Tästä johtuen erityisesti eri teknologioiden käyttöönottoa mahdollistavat kannustinmenetelmät nähtiin parhaimpana ratkaisuna puhtaamman satamaoperoinnin motivoimisessa. Kannustinehdotuksiin kuuluu mm. latauspisteiden tarjoaminen sähkökoneille tai niiden rakentamisen tukeminen, operaattoreiden laskutuksen sitominen hiilidioksidipäästöihin ja eri pilotointihankkeiden mahdollistaminen.

Haastatteluiden aikana Helsingin Satama eritoten korosti, että sataman täytyy olla ohjauksessaan neutraali ja tasapuolinen kaikkien operaattoreiden näkökulmasta, eikä pakottavia toimia voida eikä haluta asettaa ilman ”lain pakottavia” keinoja. Toisin sanoen pakottavien keinojen käyttöönoton edellytyksenä olisi suoria muutoksia Suomen päästölainsäädäntöön, mikä

johtaisi esimerkiksi vuokrasopimusten sitomisen toimilupiin, jotka sisältävät ympäristövelvoitteita. Em. tekijöiden vuoksi Vuosaaren satama olisi valmis tekemään jopa tiettyjä taloudellisesti kannattamattomia investointeja, mikäli investoinnit vaikuttaisivat myönteisesti operaattoreiden hiilidioksidipäästöihin, jolloin pakottavilta keinoilta välttyttäisiin.

1.3.2 Työkonetoiminnan kehitys operaattoreiden näkökulmasta

Haastatteluiden perusteella satamaoperaattoreiden toimintamallit poikkeavat toisistaan yritysten toimintastrategiasta sekä asiakkaiden rahti- ja laivaliikennemuodosta riippuen suhteellisen paljon. Tästä johtuen myös työkonelasto on satama-alueella monimuotoista. Operaattoreiden kalustokokonaisuudet vaihtelevat neljän ja yli sadan työkoneen välillä. Kaluston keski-ikä vaihtelee operaattorikohtaisesti viidestä viiteentoista vuoteen. Osa operaattoreista pyrkii uusimaan työkoneitaan useammin, mutta toisinaan esiintyy tapauksia, joissa työkoneiden keski-ikä on korkeampi. Lisäksi kilpailu on alueella kovaa eikä yhteistyötä operaattoreiden välillä juuri esiinny. Katemarginaalin säilyttämiseksi operaattoreiden työkoneiden käyttö- ja laiteinvestoinneista aiheutuneet kulut pyritään minimoimaan. Laitekantaa ylläpidetään tarkasti käyttö- ja huoltokustannusten vaikutukset huomioon ottaen, ja koneet pyritään vaihtamaan siinä vaiheessa, kun huoltokustannukset kasvavat niin korkeiksi, ettei ylläpitämiseen ole käyttökustannusten kannalta perusteita.

Kaikki haastatellut operaattorit näyttävät olevan avoimia toimintansa kehittämiseksi toimenpitein, jotka samalla johtaisivat työkoneista aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Työn tehokkuutta ja joustavuutta edistävät ja energiankulutusta vähentävät toimet koettiin erityisesti tervetulleiksi. Tästä huolimatta suurin kynnyskysymys liittyy potentiaalisten toimenpiteiden kustannusvaikutuksiin, sillä taloudellinen kannustus asiakkaiden suunnalta puuttuu tällä hetkellä kokonaan. Tämän seurauksena ylimääräisistä toimenpiteistä aiheutuvat kustannukset jäisivät suoraan operaattoreiden maksettavaksi. Esimerkiksi uusiutuvaan polttoaineeseen siirtymiselle oltiin avoimia, niin kauan kuin käyttökustannukset ja polttoaineen yhteensopivuus eivät aiheuttaisi negatiivisia vaikutuksia liiketoimintaan. Tällä hetkellä esimerkiksi uusiutuva diesel nähtiin kuitenkin niin kalliina, että siihen siirtyminen olisi nykyisellä polttoaineen markkinahinnalla kannattamatonta.

Toimijoiden keskuudessa on tehty runsasta ja oma-aloitteista taustatyötä työkoneiden markkinakehityksestä, ja tietoisuus markkinakehityksestä vaikuttaa olevan hyvä. Kaikkiin vaihtoehtoihin käyttövoimiin suhtauduttiin avoimesti sillä edellytyksellä, että työkonetoiminta pysyisi vähintään ennallaan dieselyölkoneisiin nähden. Erityisesti sähkötyökoneet ja niiden potentiaali kiinnostavat operaattoreita, ja muutamalla operaattorilla on jo meneillään yksittäisiä pilotihankkeita sähkötrukkien kokeilujen muodossa. **Nekin operaattorit, jotka eivät ole itse vielä kokeilleet sähkötyökoneita todellisessa työympäristössä, olivat avoimia sähkötyökoneiden pilotointiehdotuksille.** Sähkökoneiden korkeiden investointikustannusten takia operaattorit kuitenkin näkivät, että sähkötyökoneet eivät ole vielä täysin kilpailukykyisiä polttomoottorilla toimivien työkoneiden kanssa. Operaattorit arvelivat, että lähitulevaisuudessa (2–10 v) etenkin tasaisella alustalla liikkuvien ja kevyempien sähkötyökoneiden, kuten sähkökäyttöisten haarukkatrukkien, osuus voisi investointikustannusten madaltuessa kasvaa. **Korkeiden investointikustannusten lisäksi sähkökoneiden akkujen alhainen varauskapasiteetti nähtiin haasteellisena, sillä töitä tehdään parhaillaan kahdessa peräkkäisessä 8 h:n vuorossa (4 h kerrallaan) ja tämänhetkisten kokemusten perusteella sähkökoneen akkukapasiteetti riittää ainoastaan n. 4 h:n yhtäjaksoiseen työsuoritteeseen.** Haasteen ei nähdä ratkeavan pikalatauksillakaan, sillä vaikka lataus tehtäisiin työsuoritteiden välissä, jatkuva pikalataus on hidasta ja sitä kautta vaikuttaa epäsuotuisasti työn tehokkuuteen ja kannattavuuteen.

Nykyhetkellä tehokkaimpana keinona hiilidioksidipäästövähennysten näkökulmasta nähtiin työkoneneiden päivittäminen uusiin vastaaviin dieselkäyttöisiin työkoneisiin, jotka kuitenkin olisivat energia-

tehokkaampia kuin nykyiset. Eräiden operaattoreiden kokemusten perusteella polttoainetaloudellisuus voi parhaimmillaan parantua 10 vuotta vanhan koneen uusimisen myötä peräti 30 %. Lisäksi koneiden päivitysten myötä lähipäästöt ja melutasot laskevat merkittävästi samalla kun työmukavuus kasvaa. Sähkötyökoneiden tarjonnan kasvaessa ennustettiin työkoneiden investointihintojen laskevan, mikä lisäisi sähkökoneisiin siirtymisen houkuttelevuutta. Vuosaaren sataman latausinfraan nähtiin olevan tällä hetkellä koneiden sähköistämisen näkökulmasta riittävä, sillä satamassa on jo tällä hetkellä hyvä valmius latauspisteiden rakentamiselle, eikä alueen sähkönsyötön nähdä aiheuttavan esteitä suurempien latausasemien rakentamiselle.

1.3.3 Sähköisten voimalinjojen investointikustannukset

Hybridi- ja täyssähköisissä voimalinjoissa työkoneiden investointikustannukset ovat noin +15...+150 % polttomoottorivoimalinjoja suurempia. Kalleimmissa työkoneissa (konttilukit) hybridi- tai täyssähkövoimalinjan vaatimat lisäinvestoinnit ovat suhteessa pienimpiä (+15...+30 %), kun taas halvimmissa työkoneissa (esim. terminaalitraktorit) täyssähköisen voimalinjan vaatimat lisäinvestoinnit ovat suurimpia (+150 %).

Täyssähköisissä voimalinjoissa pitää ottaa huomioon myös työkoneiden vaatiman latausinfrastruktuurin investointikustannukset, joihin vaikuttaa oleellisesti valittu latausstrategia (esim. hidas vai nopea lataus, kuinka monta työkoneita jakaa saman latausinfraan). Latausinfrastruktuurin kustannuksiin vaikuttaa myös sataman sähköinfrastruktuurin kapasiteetti.

1.3.4 Satamaoperaatioiden kehitys

Konttilaivojen operoinnissa satamatoimintoja voidaan tehostaa käyttämällä siihen tarkoitettuja portaalinostureita (esim. RTG tai RMG). Käyttämällä portaalinostureita konttikurottajien tai -lukkien sijaan saavutetaan korkeampi varastointitiheys satama-alueella. Portaalinosturit voidaan myös varustaa suoralla sähkösyötöllä sähköverkosta, jolloin niiden sähköistäminen on edullisempaa kuin mobiilimpien kurottajien ja lukkien, jotka tarvitsevat akustot täyssähköiseen toimintaan. Portaalinostureihin perustuva operaatio vaatii kuitenkin monesti enemmän investointeja kuin nykyisin Vuosaarella käytössä olevat operointimallit, ja muutos satamatoiminnoissa vaikuttaa huomattavasti myös muihin osiin operaatiossa, kuten esimerkiksi rekkojen palveluun.

Ro-Ro-laivojen operoinnissa vaihtoehtoja Ro-Ro-terminaalitraktoreille ei käytännössä ole.

Työkoneiden automatisoinnin vaikeusaste vaihtelee huomattavasti riippuen terminaalissa käytössä olevasta operaatiomallista. Työkoneiden täysautomatisoinnin turvatoimet vaativat tyypillisesti operaatiolta myönnytyksiä hitaampien liikenopeuksien tai rajattujen toiminta-alueiden muodossa. Operaatiota avustava automaatio sen sijaan pystyy tehostamaan toimintaa ja sitä kautta vähentämään energiankulutusta ja päästöjä aiheuttamatta rajoitteita operaatioille. Esimerkiksi työtehtävien jakamisessa työkoneille voidaan optimoida energiankulutusta ajatun matkan ja ajonopeuden kautta, ja akkusähköisten työkoneiden yhteydessä pikalatausinfrastruktuurin käyttövuorot voidaan jakaa työkoneille automaattisesti.

1.4 Case Göteborg

VTT haastatteli hankkeen yhteydessä myös Göteborgin sataman edustajaa. Haastattelun tarkoitus oli tehdä selvitystä esimerkkitapauksista maailmalla, joissa tiedetään hiilineutraalin satamatoiminnan olevan jo kehityksessä pitkällä.

Göteborgin satama on pohjoismaisittain suurikokoinen satamakokonaisuus, joka sijaitsee Göteborgin keskustan kupeessa. Göteborgin sataman läpi kulkeva rahtimäärä on merkittävä, sillä noin puolet Ruotsin konttiliikenteestä kulkee kyseisen sataman kautta. Göteborgin läpi kulkeva suuri rahtiliikenne johtuu pääasiassa maantieteellisistä syistä, sillä satama sijaitsee usean Ruotsin kaupakumppanin läheisyydessä ja sijainti on esimerkiksi Tanskasta ja Saksasta liikkuvan rahdin kannalta otollisella paikalla. **Lisäksi lähialueilla ei ole juuri muita merkittäviä satama-alueita kilpailemassa rahtiliikenteestä.** Satama on myös tunnettu kunnianhimoisista ympäristötavoitteistaan. Sataman hiilidioksidivähennystavoitteet on asetettu 70 %:iin vuoteen 2030 mennessä suhteessa vuoden 2010 päästöihin, ja lopulta toiminnan tulisi olla kokonaan hiilineutraalia vuoteen 2045 mennessä Ruotsin valtiotason päästövähennystavoitteiden mukaisesti. **Vuoden 2030 päästövähennystavoitteet on jo sataman työkoneiden kannalta kuitenkin saavutettu, sillä operaattorit ovat siirtyneet uusiutuvaan HVO-polttoöljyn muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta.**

Göteborgin satamalla on vastaavasti kuin Vuosaarella käytössään landlord-malli, jossa satama toimii alueen hallinnollisena elimenä ja jossa yksityiset operaattorit kilpailevat vapaasti rahtiliikenteen operoinnista. Göteborgin satama toimii täten ikään kuin alueen viranomaisena, joka ohjaa, säätelee ja valvoo operaattoreiden toimintaa maa-alueellaan. Operaattoreiden palveluiden ohjaamiseksi ympäristöystävällisempään suuntaan landlord-sopimukseen on liitetty toimilupasopimus, joka edellyttää operaattoreiden sitoutumista Göteborgin kaupungin ympäristö- ja päästötavoitteisiin. Lisäksi satamalla ja operaattoreilla on yhteinen ympäristölautakunta, jonka tavoitteena on edistää sataman yhteistoimintaa ympäristötavoitteiden edistämiseksi.

Mekanismi, jolla Göteborgin operaattorit saatiin siirtymään uusiutuvan polttoaineen käyttöön, on moniulotteinen, mutta kokonaisuudessaan kansalliset olosuhteet ja politiikka ovat merkittävästi edesauttaneet suotuisan tilanteen muodostumista. **Ensinnäkin Göteborgin satama on asettanut operaattoreille tiukahkot päästörajoitteet, joiden mukaan alueella operoivien työkoneiden on täytettävä viimeisimmät EU-päästöraajat. Tällä hetkellä voimassa on Stage V -päästöraajat.** Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kaikki alueella käytössä olevat työkoneet ovat suhteellisen uusia. **Ruotsin kansallinen uusiutuvan polttoaineen markkinatilanne poikkeaa merkittävästi Suomen mallista (joka pohjautuu sekoitevelvoitteeseen) siten, että Ruotsin valtio tukee suoraan uusiutuvan polttoaineen käyttöä myöntämällä uusiutuvalle polttoaineelle veroetuja (ks. kappale 2.8.4).** Tästä johtuen uusiutuvan dieselin käyttö ei aiheuta aivan samansuuruisia kustannusten kasvua kuin Suomessa. **Haastattelusta ilmeni, että operaattorit ovat kauttaaltaan siirtyneet uusiutuvaan polttoaineeseen omaehtoisesti ilman, että satamaelimen oli puututtava tilanteeseen. Luonnollinen siirtymä syntyi suurelta osin uusiutuvan dieselin tuomasta yritysten näkyvyyttä kohentavasta imagosta, joka mahdollisti riittävän kilpailuedun.** Siirtymävaihe oli kaiken lisäksi nopea, sillä ensimmäisen operaattorin siirtyminen uusiutuvaan dieseliin nähtiin niin suurena kilpailuetuna, että tilanne loi kilpaileville operaattoreille merkittävän markkinapaineen, jolloin loputkin siirtyivät uusiutuvan polttoaineen käytön piiriin jo samana vuonna.

Göteborgin sataman näkemys työkoneiden kehityksestä vaikuttaa olevan selkeä. Sataman tekemät ennusteet viittaavat siihen, että koko työkonekannan sähköistäminen olisi realistista vuodesta 2030 alkaen. Nykyhetkellä sähkökoneisiin investointi ei ole kuitenkaan alkuinvestointi- ja käyttökustannusten kannalta suotuisaa, sillä hankintahinnat ovat edelleen korkeat, minkä johdosta käyttökustannukset (total cost of ownership, TCO) työkoneen elinkaaren aikana eivät ole vielä kilpailukykyisiä nykyisten dieseltyökoneiden kanssa. Lisäksi latausinfra rakentaminen ja investointiprosessi vievät aikaa, eikä täydelliselle sähkötyökonekannan operoimiselle ole vielä edellytyksiä. Göteborgin satama-alueella on kuitenkin sähkölatausinfrale hyvä valmius, ja infra kehittämiseksi on jo aloitettu tarvittavat toimenpiteet. Tämän vuoksi sataman strategiassa keskeisessä asemassa on ollut työkoneiden kannalta uusiutuvaan dieselpolttoaineeseen (HVO) siirtyminen, sillä se ei edellytä merkittäviä uudistuksia tankkausinfraan, eikä polttoaineen käyttöönotto ole vaikuttanut nykyisin käytössä oleviin työkoneinvestointeihin tai aiheuttanut muutoksia tuleviin investointeihin.

2. Yleinen tilanne ja kehitys

Kappaleen tiivistelmä

EU-sääntely

- Euroopan unioni on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 40 %:lla vuoteen 2030 mennessä, Green Deal saattaa kiristää tavoitteita edelleen (mahdollisesti -55 %).
- Ei-päästökauppasektorin (sisältäen mm. liikenteen) sitova taakanjako (39 % Suomen osalta nykyisillä päätöksillä) ohjaa voimakkaasti päästövähennystoimia.
- Henkilö-, paketti- ja kuorma-autojen CO₂-päästöraajat kiristyvät kahdessa portaassa, vuosina 2025 ja 2030.
 - Tämä ja esim. puhtaiden ajoneuvojen direktiivi vauhdittavat sähköistymistä.
- **Työkoneiden moottoreihin kohdistuva nykyinen EU-sääntely koskee perinteisiä ilmansaasteita, toistaiseksi ei energiatehokkuutta tai CO₂-päästöjä.**

Kansallinen sääntely

- **Suomessa ajettavien dieseltäyökoneiden osuus CO₂-päästöistä on noin 4 % koko liikenteen osuuden ollessa noin 21 %.**
- **Suomessa on päätetty vähentää liikenteen päästöjä 50 %:lla vuoteen 2030 mennessä** (2016 energia- ja ilmastostrategia, juontuu taakanjaosta).
- Kansallista ilmasto- ja energiastrategiaa ollaan päivittämässä, ja siinä varaudutaan EU-tason tavoitteiden kiristymiseen.
- **Suomessa biopolttoaineiden käyttö on katsottu tärkeäksi toimenpiteeksi liikenteen CO₂-päästöjen vähentämisessä.**
 - Tieliikenteessä on ollut biopolttoaineiden jakeluelvoite vuodesta 2008 alkaen, ja tavoite vuodelle 2029 (ja siitä eteenpäin) on 30 %.
 - Myös polttoöljylle on otettu käyttöön jakeluelvoite, joka on 3 % vuonna 2021 ja nousee 10 %:iin vuonna 2030.
- Jakeluelvoite takaa tietyn biopolttoaineiden minimitasen valtakunnan tasolla, mutta ei nykyisellä rakenteella mahdollista sitä, että yksittäinen taho voisi omilla toimillaan aidosti lisätä biopolttoaineiden käyttöä.
- Liikenne- ja viestintäministeriön asettaman työryhmän 27.10.2020 valmistuneessa "Fossiilittoman liikenteen tiekartta" -raportissa mainitaan satamien osalta erityisesti: **"Ohjelman tavoitteena on, että kaikki uudet työkoneet ja laitteet olisivat jonkin vaihtoehtoisen käyttövoiman käyttöön sopivia vuodesta 2030 eteenpäin."** Lisäksi maasähkön käyttö isoissa satamissa halutaan tehdä aidosti mahdolliseksi.
- Uusiutuvan dieselin lisähinta tieliikennekäytössä on tällä hetkellä luokkaa 25 s/l. Moottoripolttoöljyn osalta ero tulee olemaan arviolta luokkaa 25–40 s/l. Ilman jakeluelvoitteen tukea uusiutuvan moottoripolttoöljyn hinta olisi arviolta noin 1,70 €/l.

2.1 Hiilidioksidipäästöjä koskeva lainsäädäntö (ylätaso)

Hiilidioksidipäästöjä rajoitetaan lainsäädännöllä niin EU:n kuin eri jäsenvaltioiden tasolla. Lisäksi eri toimijat, niin julkisella kuin yksityiselläkin sektorilla, ovat asettaneet itselleen päästövähennystavoitteita. Suomessa liikenteen päästöjä on päätetty leikata 50 %:lla vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoteen 2005. Toistaiseksi työkoneiden CO₂-päästöjä ei rajoiteta EU-säännöksiin, mutta odotettavissa on, että myös työkoneet tulevat jossakin vaiheessa CO₂-lainsäädännön piiriin.

Alun perin Euroopan unionin tavoitteena on ollut leikata kasvihuonekaasuja (KHK) 40 %:lla vuoteen 2030 mennessä referenssivuoteen 1990 verrattuna. Päästövähennystavoite päästökauppa-sektorilla (PKS) on 43 %, ja ei-päästökauppa-sektorilla (ei-PKS), johon kuuluvat mm. liikenne, rakennusten energiankäyttö ja jätehuolto, tavoite on keskimäärin 30 %. Ns. taakanjaolla eri maille määrättiin maakohtaiset sitovat päästövähennystavoitteet². Suomen osalta tavoite on -39 % ei-PKS:n päästöissä referenssivuoteen 2005 verrattuna. Päästövähennyksistä on lopullisesti määrätty asetuksessa (EU) 2018/842.

Osana ns. European Green Deal -sopimusta (vihreän kehityksen ohjelma³) komissio ehdotti kuitenkin syyskuussa 2020, että kasvihuonekaasujen vähennystavoite nostettaisiin -55 %:iin vuonna 2030⁴. Lainsäädännöllinen prosessi on käynnistetty, ja tarkempia dokumentteja odotetaan kesäkuuhun 2021 mennessä. Jos tavoitteita muutetaan, se tarkoittaa väistämättä muutoksia päästökauppaa koskevaan direktiiviin (2003/87/EY) sekä taakanjakoa ((EU) 2018/842) ja maankäytöstä, maankäytön muutoksesta ja metsätaloudesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä ((EU) 2018/841) koskeviin asetuksiin. Lisäksi heijastumia voisi tulla ajoneuvojen hiilidioksidipäästöjä (CO₂) koskevaan sääntelyyn.

Vuoden 2016 kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa ("Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030"⁵) ennakoitiin tulevaa taakanjakoa, josta lopullinen päätös siis tuli vuonna 2018. Strategiassa liikenteestä todetaan:

"Liikenteellä on keskeinen merkitys Suomen kansallisten ilmastotavoitteiden saavuttamisessa, sillä liikenne tuottaa Suomessa noin 40 prosenttia taakanjakosektorin kasvihuonekaasupäästöistä. Liikenteen rooli päästöjen vähentämisessä tulee korostumaan myös sen vuoksi, että muilla sektoreilla (esim. maataloudessa) päästöjen vähentäminen on vielä vaikeampaa kuin liikennesektorilla. Siksi liikennesektorilla varaudutaan päästöjen vähentämiseen jopa noin 50 prosentilla vuoteen 2030 mennessä."

Liikenteen päästövähennystoimista mainitaan mm.

- liikennejärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen
- ajoneuvojen energiatehokkuuden parantaminen
- fossiilisten öljypohjaisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla ja/tai vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla.
 - Liikenteen biopolttoaineiden energiasisällön fyysinen osuus kaikesta tieliikenteeseen myydystä polttoaineesta nostetaan 30 prosenttiin vuoteen 2029 mennessä.

Strategiassa on lisäksi asetettu tavoitteita vaihtoehtoisten ajoneuvojen määrille: vähintään 250 000 sähköautoa ja vähintään 50 000 kaasuautoa vuonna 2030.

² <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>

³ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fi

⁴ https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030_ctp_en

⁵ <https://tem.fi/energia-ja-ilmastostrategia>

Työkoneista todetaan:

”Työkoneiden kasvihuonekaasupäästöt ovat pysyneet viime vuosina suurin piirtein samalla tasolla. Työkoneiden moottoreihin kohdistuva nykyinen EU-sääntely koskee perinteisiä ilman-saasteita, ei energiatehokkuutta tai CO₂-päästöjä. Työkoneissa käytettävän kevyen polttoöl-jyn osalta otetaan käyttöön bionesteen 10 prosentin sekoitusvelvoite. Sääntelyn ulottaminen energiatehokkuuteen ja CO₂-päästöihin ohjaisi EU:ssa työkonesektorilla toimivien valmista-jien kehitystyötä ja takaisi alenevan päästökehityksen työkonekannan uusiutumisen myötä. Näin voitaisiin edistää energiankulutukseen liittyvien innovatiivisten teknisten ratkaisujen käyttöön-ottoa. Työkoneiden moottorien tyyppihyväksyntä tulee vuodesta 2017 eteenpäin mahdollistamaan biokaasun käytön myös traktorien moottoreissa, mikä osaltaan mahdollistaa päästövähennyksiä.”

Työkoneiden osalta nostettiin siis esille kaksi toimenpidettä: 10 %:n biosekoitevelvoite työkoneissa käytettävälle moottoripolttoöljylle ja epäsuorana keinona työkoneiden EU-sääntelyyn vaikuttaminen.

Tieliikennepolttoaineissa biovelvoitteen noston 30%:iin⁶ oletettiin laskevan CO₂-päästöjä 2,1 Mt:lla vuonna 2030, ja 10 %:n bio-osuuden moottoripolttoöljyssä oletettiin uutena toimenä laskevan CO₂-päästöjä 0,2 Mt:lla. Näitä lukuja voidaan verrata tieliikenteen referenssivuoden 2005 CO₂-päästöihin, jotka olivat 11,7 Mt.

Strategiassa tuodaan selvästi esiin kuntien rooli päästöjen vähentämisessä:

”Kunnilla on ratkaisevan tärkeä merkitys taakanjakosektorin päästötavoitteiden toteuttamises-sa. Kuntien päätökset maankäyttöä, liikennettä ja palveluja, elinkeinopolitiikkaa, energia-asioita ja hankintoja koskien vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöihin. Kestävät julkiset hankinnat sekä tuke-vat päästövähennyksiä, että tarjoavat mahdollisuuksia kotimarkkinoiden kehittämiseen. Sekä kun-nissa että maakunnissa on laadittu ahkerasti ilmastostrategioita, erityisesti vuosina 2009–2012. Suomessa on liki 40 ilmastopolitiikan edelläkävijäkuntaa. Ne ovat sitoutuneet merkittäviin, kansal-lisia ja EU-tavoitteita tiukempiin päästövähennystavoitteisiin. Monissa suomalaisissa edelläkävijä-kunnissa ilmastotavoitteita on kytketty talouden ja työllisyyden tavoitteisiin.”

Vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategiaan kirjatut tavoitteet löytyvät niin ikään Antti Rinteen / Sanna Marinin hallitusohjelmista⁷. Jos EU:ssa tehdään lopullinen päätös kasvihuonekaasupäästö-jen vähennystavoitteiden kiristämisestä, tämä tulee luonnollisesti heijastumaan myös kansallisiin tavoitteisiin.

Hallitusohjelmassa on mainittu yhtenä toimenpiteenä myös fossiilittoman liikenteen tiekartan laati-minen. Liikenne- ja viestintäministeriö (LVM) asetti työryhmän valmistelun tueksi. Työryhmän tehtä-vänä on tunnistaa yhteiskunnallisen päätöksenteon pohjaksi keinot, joilla kotimaan liikenteen kas-vihuonekaasupäästöt puolitetaan vuoteen 2030 mennessä ja liikenne muutetaan nollapäästöiseksi viimeistään vuoteen 2045 mennessä. Työryhmän työn pohjalta ministeriössä on laadittu tiekartta, jossa on tunnistettu sekä keskeiset toimenpiteet että niiden kustannukset ja muut vaikutusarviot. Työryhmän loppuraportti⁸ julkaistiin 27.10.2020. Tiekarttaluonnos lähetettiin lausuntokierrokselle 15.1.2021⁹.

⁶ Vuoden 2020 tavoite oli 20 % huomioiden ns. tuplalaskenta. Oletus oli, että fyysinen osuus olisi 13,5 % vuonna 2020, ja ns. perusurassa tämän tason oletettiin säilyvän vuoteen 2030.

⁷ <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma>

⁸ <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162508>

⁹ <https://www.lvm.fi/-/fossiilittoman-liikenteen-tiekartta-lausunnoille-kolme-vaihetta-kohti-ilmastoystavallista-liikkumista-1251809>

Tiekarttaluonnoksessa painopiste on tieliikenteen päästöjen vähentämisessä. Työkoneet on kuitenkin mainittu useammassa kohdassa. Työkoneista on sanottu mm.:

- **Työkoneiden ja -laitteiden päästöjen vähentämiseksi olisi tärkeää saada markkinoille kokonaan uusiutuva moottoripolttoöljy.**

Erityisesti satamiin liittyen:

- Maasähkön osalta kansallisen ohjelman tavoitteena on, että Suomen suurimmissa satamissa olisi mahdollisuus maasähkön käyttöön viimeistään vuonna 2030. **Satamien terminaali liikenteen tulisi olla lähes täysin päästötöntä vuonna 2050. Ohjelman tavoitteena on, että kaikki uudet työkoneet ja laitteet olisivat jonkin vaihtoehdoisen käyttövoiman käyttöön sopivia vuodesta 2030 eteenpäin.**

LVM:n tiekarttaluonnos mainitsee erikseen selvityksen vähäpäästöisistä työkoneista Vuosaaren sataman osalta ja Helsingin Sataman ”Hiilineutraali satama 2035” -toimenpideohjelman¹⁰. Satama-alueiden työkoneiden osalta tavoitteena on päästöjen vähentäminen 60 %:lla. Toimenpiteinä luetellaan sähköisen työkoneinfrastruktuurin mahdollistaminen ja biopolttoaineiden käyttöön kannustaminen.

Hallitusohjelmassa on myös mainittu uuden ilmasto- ja energiastrategian laatiminen. Työ on nyt käynnissä työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) johdolla¹¹. TEM:in tiedotteessa todetaan, että päähuomio sekä strategiassa linjattavissa politiikkatoimissa että niihin perustuvissa skenaarioissa kiinnitetään EU:n vuodelle 2030 asettamien ilmasto- ja energiatavoitteiden täyttämiseen ja hallitusohjelman hiilineutraalius 2035 -tavoitteeseen. Strategian valmistelussa otetaan huomioon myös komissioltta kesällä 2021 tulevat Green Dealia koskevaan tiedonantoon liittyvät säädösehdotukset vuoden 2030 tavoitteiden tiukentamisesta sekä eri ministeriöissä tehtävä sektorikohtainen selvitystyö (mm. edellä mainittu fossiilittoman liikenteen tiekartta ja TEM:in vähähiilisyystiekartat).

2.2 Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen eri sektoreille

Suomen vuoden 2019 kasvihuonekaasupäästöt olivat ennakkotietojen mukaan 52,8 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenteina (CO_{2ekv}). Päästöt ovat laskeneet 26 %:lla vertailuvuodesta 1990¹².

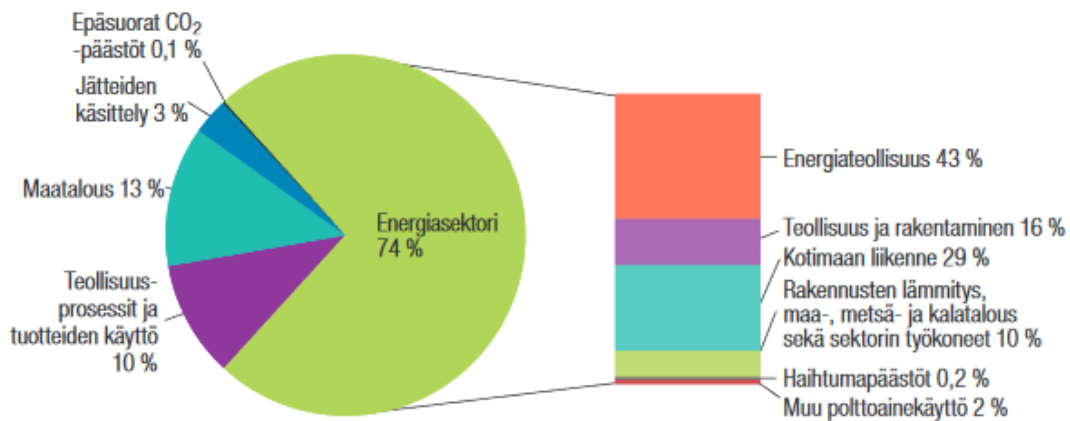
Kuvassa 2 on sektorikohtainen vuoden 2019 jakauma. Energiasektori on merkittävin 74 %:n osuudella. Energiasektorin puitteissa kotimaan liikenteen osuus on 29 % polttoöljyn käytön (lämmitys- ja moottorikäyttö yhteensä) ollessa 10 %. Osuudet kokonaispäästöistä ovat vastaavasti: liikenne 21 % (n. 11,1 Mt) ja polttoöljyn käyttö 7,4 % (n. 3,9 Mt). **VTT:n TYKO-laskentamallin¹³ mukaan ajettavat dieselikäyttöiset työkoneet kuluttivat yhteensä 650 587 tonnia polttoainetta vuonna 2019, CO₂-päästön ollessa 2,07 Mt. Näin ollen ajettavien dieseltyökoneiden osuus Suomen CO₂-kokonaispäästöistä on noin 4 %.**

¹⁰ <https://www.portofhelsinki.fi/verkkolehti/hiilineutraali-satama-2035>

¹¹ <https://tem.fi/ilmasto-ja-energiastrategia>

¹² https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/yymp_kahup_1990-2019_2020.pdf

¹³ <http://lipasto.vtt.fi/tyko/index.htm>



Kuva 2: Kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen sektoreittain vuonna 2019¹².

2.3 CO₂-päästöjen tarkastelutavat

CO₂-päästöt otetaan huomioon eri yhteyksissä eri tavoilla, ja tästä voi syntyä tiettyä sekaannusta:

- Päästötaseiden laskennassa biopolttoaineiden, sähkön ja vedyn loppukäyttö katsotaan nollapäästöisiksi (tämä tarkastelutapa pätee esim. Vuosaaren sataman päästöihin).
- Ajoneuvosäännökset perustuvat pakoputkesta mitattuun CO₂-päästöön eivätkä mitenkään erottele fossiilisia ja uusiutuvia polttoaineita (pakottaa autonvalmistajat lisäämään sähköautojen osuuksia).
- Objektivisin tapa verrata eri käyttövoimavaihtoehtoja olisi tarkastella koko polttoaineketjun päästöjä (näin esimerkiksi sähkön alkuperä ja biopolttoaineiden todellinen päästövähennys tulevat huomioiduiksi).

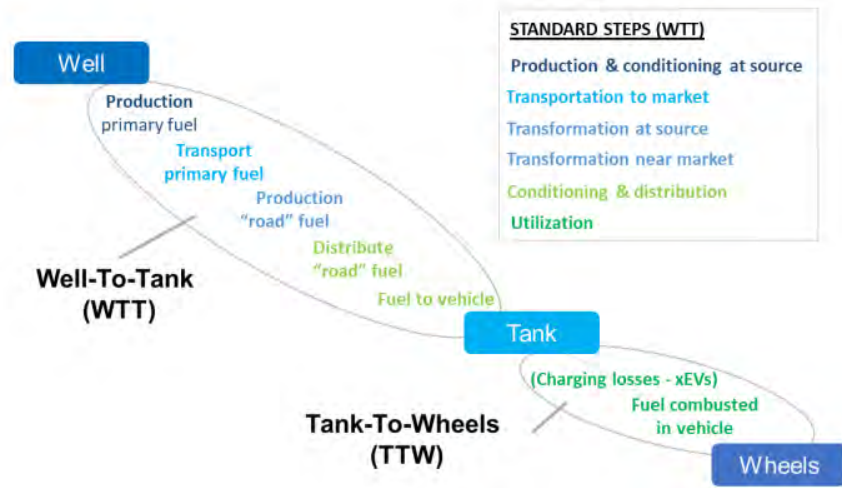
Loppukäytön osalta biopolttoaineet, vety ja sähkö lasketaan YK:n alaisen IPCC:n¹⁴ ja EU:n sääntöjen mukaan nollapäästöisiksi, ja energian tuotannon päästöt sisällytetään muihin taseisiin. Toisaalta ajoneuvojen CO₂-päästö määräyksissä, jotka velvoittavat autonvalmistajat tiettyyn keskimääräiseen CO₂-tasoon, otetaan huomioon ainoastaan loppukäytön eli pakoputken päästä mitatut CO₂-päästöt. Tässä tarkastelutavassa sähkö- ja vetäutot ovat aina nollapäästöisiä käytetystä energiasta riippumatta, kun taas uusiutuvaa polttoainetta käyttävät autot eivät käytännössä saa mitään etua fossiilisia polttoaineita käyttäviin autoihin nähden. Tästä on ollut seurauksena se, että autonvalmistajat keskittyvät yhä enemmän sähköä hyödyntäviin autoihin, ja kiinnostus biopolttoaineille optimoituihin ratkaisuihin on hiipunut.

Oikeudenmukaisempi tapa autojen ja työkalujen osalta olisi tarkastella CO₂-päästöjä koko energia- tai polttoaineketjun yli ns. Well-to-Wheel (WTW) -periaatteella. Euroopan komission alainen Joint Research Centre (JRC), autoteollisuuden tutkimusorganisaatio EUCAR ja energiateollisuuden tutkimusorganisaatio Concawe ovat pitkään tehneet yhteistyötä WTW-aiheesta. Kolmikosta käytetään lyhennettä JEC. Uusin JEC:n WTW-raportti, versio 5, julkaistiin vuonna 2020¹⁵.

¹⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change

¹⁵ <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/jec-well-wheels-report-v5>

Kuvassa 3 on esitetty polttoaineketjun jako Well-to-Tank- (WTT, ”lähteeltä tankkiin”) ja Tank-to-Wheel (TTW, ”loppukäyttö”) -osioihin. Nykyinen ajoneuvolainsäädäntö perustuu siis ainoastaan TTW-osioon.



Kuva 3: Energiaketjun jaottelu WTT- ja TTW-osioihin¹⁵.

Päivitettyssä uusiutuvan energian edistämistä koskevassa direktiivissä (EU) 2018/2001 (RED II) esitetään oletusarvoja erilaisten biopolttoaineiden tuomista KHK-vähennemistä suhteessa fossiiliin polttoaineisiin yli koko polttoaineketjun tarkasteltuna, toisin sanoen WTW-periaatteella. Arvot vaihtelevat merkittävästi käytetyn raaka-aineen mukaan. Oletusarvo vetykäsitellystä käytetystä ruokaöljystä valmistetulle uusiutuvalle dieselille on 83 %, ja mustalipeän kaasutuksesta sellutehtaassa tuotetulla synteettisellä Fischer–Tropsch-dieselillä oletusarvo on 89 %. Lannasta tuotetulle biometaanille annetaan jopa yli 100 %:n meneviä arvoja. Ajatus tässä on se, että lannasta aiheutuisi muuten merkittäviä metaanipäästöjä, ja metaanin KHK-vaikutus on suuri, 25-kertainen CO₂:een verrattuna.

Suomessa tuotettu/käytetty sähkö on vähähiilistä keskimääräiseen eurooppalaiseen sähköön verrattuna. Näin ollen siirtyminen sähkökoneisiin vähentää aidosti CO₂-päästöjä.

On kuitenkin muistettava, ettei WTW-tarkastelu ota huomioon materiaalien käyttöä ja kierrätystä, jotka sisältyvät täydelliseen elinkaaritarkasteluun (LCA). Nykytilanteessa akkukäyttöisten sähköajoneuvojen tuottamisesta ja kierrätyksestä tulee enemmän päästöjä kuin tavanomaisista ajoneuvoista¹⁶, mutta ajan saatossa erojen voidaan olettaa tasaantuvan.

2.4 Hiilidioksidipäästöjen arvottaminen

Hiilidioksidipäästöt arvotetaan tai hinnoitellaan hyvin eri tavalla eri yhteyksissä; hinnan vaihtelukerros voi hyvinkin olla luokkaa 15 kontekstista riippuen. Päästökaupassa CO₂:n hinta on edelleen varsin maltillinen, muutamia kymmeniä euroja, kun taas ajoneuvomääräyksissä ja biopolttoaineiden jakeluvelvoitteissa sakkomaksu on tyypillisesti tasolla 500 €/t CO₂.

¹⁶ https://www.researchgate.net/publication/312216742_Estimated_Environmental_Effects_of_the_World-wide_Electric_Vehicle_Fleet_A_Life_Cycle_Assessment_in_Task_19_of_the_International_Energy_Agency_IEA_on_Hybrid_and_Electric_Vehicles_HEV

Eri päästövähennyskeinoja punnittaessa on syytä absoluuttisen vaikutuksen lisäksi arvioida toimenpiteiden kustannustehokkuutta, ts. vältetty CO₂-tonnin hintaa.

Kuvassa 4 on CO₂-tonnin hinta päästökaupassa yli 10 vuoden aikajaksolta. Helmikuun 2021 päästöoikeuksien hinta on varsin korkealla, noin 33 €/tonni¹⁷. Alimmillaan taso on ollut noin 5 €/tonni. Voidaan kuitenkin todeta, että lähes kaikki autoihin ja työkoneisiin liittyvät päästövähennystoimenpiteet tulevat selvästi päästökaupan hintatasoa kalliimmiksi.

Päästökauppa ei ole ainoa määräävä tekijä CO₂:n hinnalle, eikä päästökaupan tasoa voi suoraan soveltaa liikenteeseen, koska lentoliikennettä lukuun ottamatta liikenne ei ole päästökaupan piirissä.

Liikennesektorilla CO₂:lle voidaan johtaa hintoja mm. verotuksen, biopolttoainvelvoitteen sakkojen ja autojen CO₂-lainsäädännön pohjalta.

Suomalainen energiavero erittelee energiasisältöveron ja hiilidioksidiveron. Liikennepolttoaineiden litramääräinen hiilidioksidivero on määritelty niin, että se vastaa CO₂:n hintana noin 50 euroa tonnilta eli on varsin maltillinen. Biopolttoaineiden jakeluvelvoitteessa, jota tarkastellaan edempänä, on täyttämättä jätetystä velvoitteesta määritelty sanktio, jonka suuruus on 0,04 €/MJ¹⁸. CO₂:n hinnaksi muutettuna tämä vastaa noin 550 euroa tonnilta.

EU:n henkilöautojen valmistajille määräämä sanktio, jos valmistaja ei pysty täyttämään asetettua CO₂-arvoa, on 95 € per gramma ylitystä g/km-muotoiseen raja-arvoon nähden. Eli jos arvo ylittyy yhdellä grammalla, ja henkilöautolla oletetaan ajettavan elinkaaren aikana 200 000 km, absoluuttinen CO₂-ylitys on 0,2 tonnia, jolloin CO₂:n hinnaksi tulee 475 €/tonni. Kuorma-autoille tehty tarkastelu antaa saman suuntaisia tuloksia.

Daily EU ETS carbon market price (Euros)



Kuva 4: CO₂-tonnin (päästöoikeuksien) hinta päästökaupassa¹⁷.

¹⁷ <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>

¹⁸ <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56210/biopolttoaineiden-jakeluvelvoite2/>

2.5 Ajoneuvoja ja moottoreita koskeva lainsäädäntö

Tieliikenneajoneuvoille on voimassa sekä säänneltyjä (lähi)päästöjä (hiilimonoksidi CO, hiilivedyt HC, typen oksidit NOx ja hiukkaset: hiukkasmassa PM ja hiukkaslukumäärä PN) että CO₂-päästöjä koskeva lainsäädäntö. Toistaiseksi työkonemoottoreiden osalta rajoitetaan vain säänneltyjä päästöjä.

Henkilö- ja pakettiautoilla tyyppihyväksymiset tehdään kokonaisilla autoilla alustadynamometrisissa. Tulokset saadaan muodossa g/km. Raskaan kaluston (bussit, kuorma-autot) moottoreiden osalta säänneltyt päästöt määritellään ja hyväksynnät suoritetaan pelkällä moottorilla tehtävän testauksen perusteella. Säänneltyt päästöt ilmoitetaan muodossa g/kWh moottorin kampiakselilla. Polttoaineenkulutus ja CO₂ mitataan, mutta näille suureille ei ole mitään raja-arvoja.

EU:ssa päätettiin 2019 kuorma-autojen CO₂-sääntelystä asetuksella (EU) 2019/1242¹⁹. Referenssinä on EU-tason keskiarvot aikavälille 1.7.2019–30.6.2020. Tavoitteet on asetettu suhteellisina valmistajakohtaisesti määritettävään referenssiin: -15 % vuonna 2025 ja -30 % vuonna 2030. CO₂-tason määrittely perustuu mitattuun moottoridataan ja ajoneuvon simulointiin VECTO-työkalun avulla²⁰.

Myös henkilö- ja pakettiautojen CO₂-rajat kiristyvät portaittain 2025 ja 2030. Käytännössä kiristyvät määräykset pakottavat autonvalmistajat lisäämään nollapäästöisten autojen (pakoputken päästä mitattuna), käytännössä siis sähköautojen, tarjontaa.

Työkoneille ja työkoneissa käytettäville moottoreille ei toistaiseksi ole mitään CO₂-lainsäädäntöä. Työkonemoottoreilta vaaditaan ainoastaan säänneltyjä päästöjä koskeva sertifiointi. Raskaiden ajoneuvomoottoreiden tapaan sertifiointi tehdään erillisillä moottoreilla. Vaikka CO₂-päästöille ei ole mitään raja-arvoja, moottorin CO₂-päästöt on kuitenkin ilmoitettava.

Nykyiset Stage V -määräykset (EU-asetus (EU) 2016/1628) työkoneiden säännellyistä päästöistä astuivat vaiheittain voimaan 2019–2020 riippuen moottorin nimellistehosta. Tieliikenteen määräyksistä poiketen työkonemoottoreissa moottorin teholuokka vaikuttaa päästörajoihin.

Merkittävin ero Stage V:ssa verrattuna aikaisempiin säädöksiin on hiukkasmassan ja hiukkaslukumäärien matalalle tasolle asetettu raja, joka pakottaa moottorivalmistajat käyttämään hiukkassuodattimia 19–560 kW:n moottoreissa. Hiukkassuodattimen käyttö luo haasteita moottorin pakokaasujen lämmönhallinnalle, jolla varmistetaan hiukkassuodattimen toiminta kaikissa olosuhteissa. Tämä saattaa nostaa sellaisten Stage V -tasoon sovitettujen moottoreiden polttoaineenkulutusta, joissa hiukkassuodatinta ei ollut Stage IV:ssa.

Stage V -lainsäädäntö asettaa keskeisimmissä (teholuokat 56 kW – 560 kW) työkoneissa säänneltyt päästöt lähes samalle tasolle tieliikenteen raskaan kaluston, kuorma-autojen ja linja-autojen kanssa. Taulukossa 3 on esitetty päästöjen raja-arvojen vertailu. Testausmenetelmät poikkeavat hieman toisistaan, mutta arvot ovat tästä huolimatta hyvinkin vertailtavissa.

¹⁹ https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_en

²⁰ https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/vecto/201811_overview_en.pdf

Taulukko 3: Päästörajojen vertailu (säännellyt päästöt)²¹.

Työkone	CO g/kWh	HC g/kWh	NOx g/kWh	PM g/kWh	PN #/kWh	Testi
Työkone 56 ≤ P < 130 kW	5,0	0,19	0,40	0,015	1x1012	NRSC & NRTC
Työkone 130 ≤ P ≤ 560 kW	3,5	0,19	0,40	0,015	1x1012	NRSC & NRTC
Tieliikenne Euro VI (2013 ->)	4,0	0,16	0,46	0,01	6x1011	WHTC

Työkoneet ovat käytännössä ainoa liikenteeseen liittyvä sektori, jota ei vielä koske min-käänlainen CO₂-lainsäädäntö. Tieliikenteen osalta henkilö-, paketti- ja kuorma-autot ovat CO₂-määräysten piirissä. Lentoliikenne on päästökaupan piirissä²², ja kansainvälinen meriliikenteen järjestö IMO on ottanut käyttöön pakollisia toimia kansainvälisen meriliikenteen KHK-päästöjen vähentämiseksi²³. **Tätä taustaa vasten voidaan ennustaa, että ennen pitkää työkoneille tai työkoneemoottoreille asetetaan jonkinlaiset CO₂-päästörajat tai tavoitteet energiatehokkuuden parantamiselle. Koneiden ja tehtävien monimuotoisuuden takia määräysten järkevä toteutus voi kuitenkin olla haastavaa.**

2.6 Polttoaineita koskevat määräykset

Polttoaineiden laatu liittyy niin haitallisten pakokaasupäästöjen rajoittamiseen kuin polttoaineiden toiminnallisuuden varmistamiseen. Lisäksi sääntelyllä varmistetaan tietty uusiutuvan energian osuus. Osa määräyksistä on lainvoimaisesti sitovia.

Polttoaineiden laatua niin tieliikenteessä kuin työkonekäytössä säädelään, jotta voitaisiin varmistua siitä, että tarjolla olevat polttoaineet ovat yhteensopivia ajoneuvokannan kanssa. Yhteensopivuutta voidaan tarkastella eri tasoilla, lähtien materiaalien yhteensopivuudesta (vaikuttaa mm. turvallisuuteen, kestävyYTEEN ja käytettävyyTEEN) ja päätyen tietyn ajoneuvon ja polttoaineen kokonaisvaltaiseen yhteensopivuuteen niin teknisessä kuin lainsäädännöllisessä mielessä.

Polttoaineiden laatua ja koostumusta säädelään eritasoisilla määräyksillä ja dokumenteilla. Kolme päätasoa ovat

- lainvoimaiset säännökset
- standardit
- erilaiset suositukset ja ohjeistukset.

Direktiivit ja säännökset muodostavat korkeimman sääntelyn tason. EU:ssa polttoaineiden laatudirektiivi 2009/30/EY²⁴, joka koskee ”tavanomaisia” bensiini- ja dieselpolttoaineita ja kaasuöljyjä (polttoöljyjä), määrittelee pakokaasupäästöjen kannalta kriittisimmät polttoaineparametrit. Jotta polttoaineet toimisivat vanhemmassa vakiokuntoisessa kalustossa, direktiivi rajoittaa myös happipitoisten biokomponenttien enimmäismäärää. Tällä hetkellä bensiinissä sallitaan enintään 10 til.-% etanolia ja dieselpolttoaineessa enintään 7 til.-% perinteistä biodieselä (FAME). Jäsenvaltiot voivat kuitenkin halutessaan poiketa FAME-rajasta. Toisaalta direktiivi ei rajoita esimerkiksi uusiutuvan dieselin (HVO) pitoisuutta. Englanninkielisessä terminologiassa rajoitteista käytetään nimitystä ”blending wall”, ja toisaalta komponenteista, joiden pitoisuutta ei rajoiteta, käytetään termiä ”drop-in”-komponentti.

Polttoaineiden laatudirektiivi sisältää myös vaatimuksen polttoaineiden hiili-intensiteetin alentamisesta 6 %:lla aikavälillä 2009–2020. Polttoaineen tuottajat voivat toteuttaa tämän vähennyksen esi-

²¹ <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>

²² <https://tem.fi/lentoliikenteen-paastokauppa>

²³ <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

²⁴ Päivitysprosessi käynnissä

merkiksi jalostamatoiminnan tehostamisen ja biopolttoaineiden käytön yhdistelmällä. Lisäksi direktiivi sisältää kestävyyskriteerejä biopolttoaineille (vastaavat kuin uusiutuvan energian edistämistä koskevassa direktiivissä).

Seuraavan tason muodostavat standardit, Euroopan tapauksessa EN-standardit. Periaatteessa standardit ovat teollisuusalan vapaaehtoisia sopimuksia. EU:ssa tietyt jäsenvaltiot kuitenkin viittaavat standardeihin säädöksissään, jolloin niistä tulee laillisesti sitovia dokumentteja. Polttoainestandardit toistavat laatudirektiivissä asetetut vaatimukset, mutta ne sisältävät myös käytännön toimivuuden kannalta tärkeitä lisäparametreja ja täydentävät näin direktiiviä. Direktiivi määrittelee dieselpolttoaineelle ainoastaan kuusi parametria, kun taas EN 590 -standardi määrittelee dieselpolttoaineelle peräti 16 parametria. Lisäyksistä mainittakoon autojen toimivuuteen ja kestävyteen liittyvät parametrit, kuten voitelevuus, korroosio, tuhka, saostumat, hapetuskestävyys ja kylmäominaisuudet.

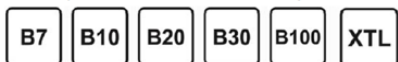
Tärkeimmät EN-polttoainestandardit ovat (E= etanoli, B= FAME)

- EN 228: bensiini (maks. E10)
- EN 590: diesel (maks. B7)
- EN 16734: diesel B10
- EN 16709: B20/B30 varikkokäyttöön
- EN 14214: B100, sellaisenaan ja seoskomponenttina
- EN 15940: parafiininen dieselpolttoaine (fossiilinen tai uusiutuva, XTL, uusiutuva diesel HVO kuuluu tähän luokkaan)
- EN 16723-2: metaani (CNG, LNG).

Tieliikennekaluston Euro VI -päästönormi edellyttää, että moottori sertifioidaan sillä polttoaineella, jota se tulee kentällä käyttämään. Niinpä löytyy Euro VI -moottoreita, jotka on sertifioitu EN 590-, EN 16734- ja EN 15940 -polttoaineille, ja lähes kaikki raskaan kaluston valmistajat ovatkin hyväksyttäneet Euro VI -moottorinsa EN 15940 -polttoaineelle eli käytännössä uusiutuvalla dieselpolttoaineelle HVO:lle. Osa autonvalmistajista on myös hyväksynyt HVO-polttoaineen käytön vanhemmissa moottorityypeissä.

Nykymääräysten mukaan uusista ajoneuvoista pitää löytyä merkintä siitä, mitkä polttoaineet ovat sallittuja (kuva 5), ja vastaavien merkintöjen pitää löytyä jakelumittareista. Eräät valmistajat ovat sertifioineet moottoreita myös B100-polttoaineelle (100-prosenttinen perinteinen FAME-biodiesel)²⁵. Näissä tapauksissa edellytetään useimmiten muutoksia esimerkiksi polttoainesuodattimiin ja huolto-ohjelmiin. Työkoneiden osalta vastaavia vaatimuksia ei toistaiseksi ole. Tieliikennepuoli antaa kuitenkin osviittaa kehityksestä, ja lisäksi on muistettava, että jotkut moottorinvalmistajat tekevät dieselmoottoreita niin tieliikenteeseen kuin työkoneisiin, tekniikan ollessa pitkälle yhteneväistä.

Diesel-type fuels: square. B7, B10, XTL, etc. ("B" stands for specific biodiesel components present in diesel, the XTL stands for synthetic diesel and indicates that it is not derived from crude oil);



*Kuva 5: Hyväksytyjen polttoainelaatujen merkintä ajoneuvoon.
Piirroskuva ja teksti CEN, valokuva Nils-Olof Nylund.*

²⁵ <https://www.agqm-biodiesel.de/en/downloads/approvals>

Uusiutuvan energian edistämistä koskeva direktiivi, joka päivitettiin vuonna 2018 ((EU) 2018/2001, RED II), täydentää omalta osaltaan polttoaineiden laatedirektiiviä uusiutuvien polttoaineiden osalta. Vaikka RED II -direktiivi on osittain vielä toimeenpanematta tiettyjen määrittelyjen osalta (esimerkiksi ns. sähköpolttoaineet ja kierrätyspolttoaineet), päivitysprosessi on jo käynnissä.

Liikenteen osalta direktiivi määrittelee mm.

- sitovan vähintään 14 %:n uusiutuvan energian tavoitteen vuodelle 2030
- kestävyyskriteerit biopolttoaineille
- rajoitukset tietyille raaka-ainekategorioille
- kehittyneiksi luokiteltavat biopolttoaineet.

Uusiutuvaksi energiaksi lasketaan biopolttoaineet, uusiutuva sähkö ja uusiutuvasta energiasta tuotettu vety sekä tietyin reunaehdoin myös ns. sähköpolttoaineet ("muuta kuin biologista alkuperää olevat uusiutuvat nestemäiset ja kaasumaiset liikenteen polttoaineet") ja kierrätetyt hiilipitoiset polttoaineet.

Biopolttoaineille on voimassa seuraavat vaatimukset/rajoitukset:

- Ravinto- ja rehukasveista tuotettujen biopolttoaineiden osuus voi olla korkeintaan 7 %, kuitenkin niin, että osuus saa olla enintään yhden prosenttiyksikön suurempi kuin vuoden 2020 toteutuma kussakin jäsenvaltiossa.
- Kehittyneille, direktiivin liitteessä IX A määritellyille raaka-aineisiin perustuville biopolttoaineille on omat alatavoitteensa: 0,2 % vuonna 2020 ja 3,5 % vuonna 2030 (ei koske tapauksia, joissa jäsenvaltio täyttää uusiutuvan energian tavoitteensa uusiutuvalla sähköllä).
- Direktiivin liitteessä IX B lueteltuihin raaka-aineisiin perustuville biopolttoaineille asetetaan 1,7 %:n katto (käytetty ruokaöljy ja tietyt eläinrasvat).

Jollei jäsenvaltio käytä lainkaan ravinto- ja rehukasveista tuotettuja biopolttoaineita, jäsenmaan uusiutuvan energian tavoitteeksi tulee 7 %. Lisäksi on käytössä kertoimia. Liitteessä IX mainittuihin raaka-aineisiin perustuville polttoaineille voidaan käyttää kerrointa kaksi. Tieliikenteessä käytetylle uusiutuvalla sähkölle kerroin on neljä.

Jos jäsenvaltio ei käytä ravinto- ja rehukasveihin perustuvia biopolttoaineita ja päättää laskea kehittyneet biopolttoaineet sekä käytettyyn kasviöljyyn ja eläinrasvoihin perustuvat biopolttoaineet kertoimella kaksi, vuoden 2030 uusiutuvan tavoitteen täyttämiseksi riittää 3,5 %:n fyysinen biopolttoaineosuus.

Kun samaan aikaan Suomella on velvollisuus vähentää ei-PKS:n päästöjä 39 %:lla vuoteen 2030 mennessä, ja koska liikenne on suurin päästölähde tällä sektorilla, on ilmeistä, että RED II -direktiivin KHK-päästöjä vähentävä vaikutus jää hyvin marginaaliseksi. Direktiivi on kuitenkin siinä mielessä tärkeä, että se määrittelee uusiutuvia polttoaineita koskevat "pelisäännöt".

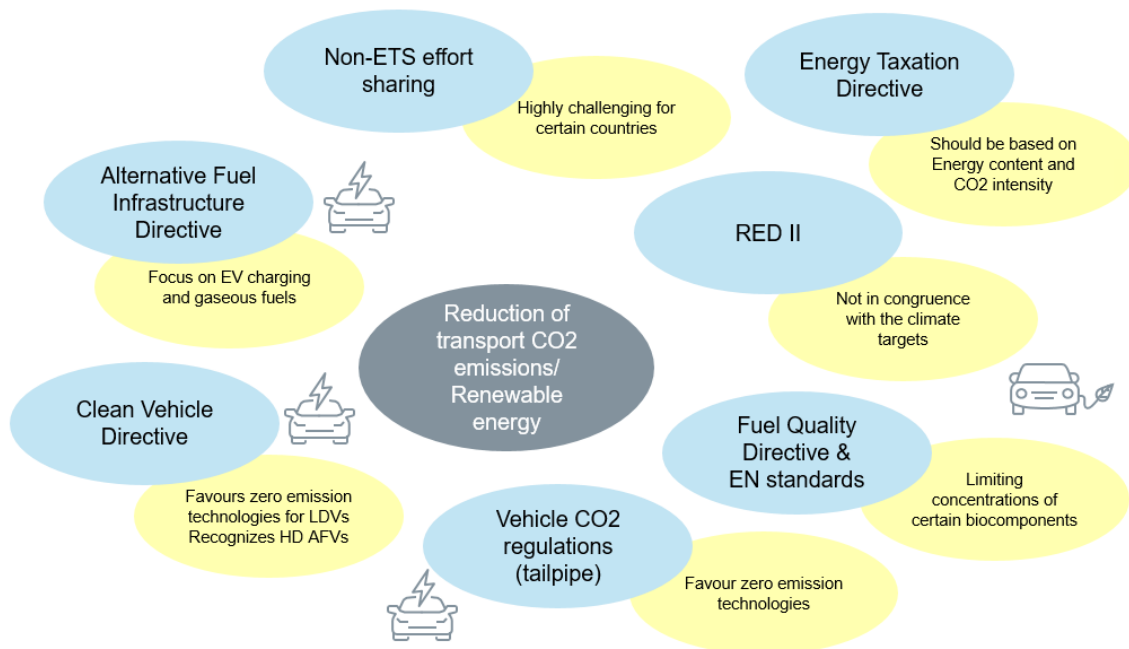
2.7 Yhteenveto EU:n kasvihuonepäästöjen rajoittamiseen liittyvästä sääntelystä

EU:ssa liikenteen CO₂-päästöjen vähentämistä ohjaa monitahoinen viitekehys. Lisäksi sääntelyä päästöjä koskeva lainsäädäntö ohjaa kehitystä omalta osaltaan. Pääosa määräyksistä koskee maantieliikennettä, ei spesifisesti työkoneita. Tästä huolimatta työkonesektorilla on tärkeä seurata tieliikenteen kehityssuuntia. Moottoriteknologiat ovat lähes identtiset, samoin polttoaineet.

Kuvassa 6 on esitetty tieliikenteen CO₂-päästöjen viitekehys. Voimakkain ajuri Suomen kannalta on vaatimus ei-PKS:n päästövähennyksistä (vaatimus -39 % vuonna 2030, jonka perusteella liikenteelle on asetettu kansallinen -50 %:n päästövähennystavoite). RED II:sta todettiin edellä, että sen ohjaava vaikutus jää heikoksi taakanjaon asettamiin vaatimuksiin verrattuna. Kuten mainittu, ajoneuvojen CO₂-päästörajat ohjaavat voimakkaasti sähköistyneen suuntaan.

Nykyinen verodirektiivi on moottoripolttoaineiden osalta epälooginen, koska minimiverot on asetettu polttoainelitraa kohti huomioimatta eroja eri polttoaineiden energiasisällössä. Suomen verojärjestelmä taas huomioi sekä energiasisällön että CO₂-intensiteetin. Tämä on mahdollista, koska verot asettuvat lähes kaikissa tapauksissa yli EU:n määräämän minimitason.

Polttoaineiden laatudirektiivi rajoittaa perinteisten biokomponenttien (etanoli ja FAME-biodiesel) käyttöä. Päivitys on käynnissä, ja harkinnassa on bensiinin etanolipitoisuuden nostaminen 20 %:iin (E10 → E20).



Kuva 6: Liikenteen CO₂-sääntelyn viitekehys. (Non-ETS effort sharing = ei-
PKS:n taakanjako, LDVs = henkilö- ja pakettiautot, HD = raskas ajoneuvokalusto,
AFVs = vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävät ajoneuvot).

Päivitetty puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämistä koskeva direktiivi (EU) 2019/1161 edellyttää, että julkiset hankintaviranomaiset ja hankintayksiköt ottavat sekä ajoneuvo- että kuljetuspalveluhankintojen osalta käyttöön tietyn minimiosuuden "puhtaita" ajoneuvoja. Henkilö- ja pakettiautojen osalta puhtaan ajoneuvon määrittely perustuu käytännössä CO₂-päästöön, aluksi enintään 50 g CO₂/km, ja vuodesta 2026 eteenpäin 0 g CO₂/km, eli käytännössä vain sähköautot kelpaavat.

Raskaiden ajoneuvojen puolella kaikki vaihtoehtoisia polttoainetta (ml. sähkö) käyttävät ajoneuvot luokitellaan puhtaksi. Määrittely linkittyy direktiiviin 2014/94/EU vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. Dieselajoneuvo 100-prosenttisella uusiutuvalla dieselpolttoaineella laskeaan myös puhtaaksi ajoneuvoksi.

Tavoiteluvut vaihtelevat maittain. Raskaiden ajoneuvojen osalta Suomen tavoitteet ovat

- aikavälillä 2021–2025:
 - kuorma-autot (N2- ja N3-luokat) 9 %
 - kaupunkibussit 41 % (josta puolet nollapäästöisiä)
- aikavälillä 2026–2030:
 - kuorma-autot (N2- ja N3-luokat) 15 %
 - kaupunkibussit 59 % (josta puolet nollapäästöisiä).

Luvuista voidaan päätellä, että kaupunkibussien oletetaan soveltuvan erityisen hyvin sähköistettäväksi.

Ajoneuvojen CO₂-sääntely (TTW-periaate) ja osittain myös puhtaiden ajoneuvojen edistämistä koskeva direktiivi ajavat kohti sähköistymistä. Tosin jälkimmäisessä ei ole alatavoitetta nollapäästöisille ajoneuvoille (sähköajoneuvoille). Tämä direktiivi ei koske työkonesektoria.

Direktiivi 2014/94/EU vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta painottuu sähköautojen latauspisteisiin ja kaasuautojen tankkausasemiin. Direktiivi ei sisällä sitovia määrällisiä tavoitteita, mutta velvoittaa kunkin jäsenmaan laatimaan suunnitelman vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurista.

2.8 Kansallinen biopolttoaineiden jakeluvelvoite

Biopolttoaineen jakeluvelvoite, joka vuodesta 2021 koskee myös polttoöljyä, on suoraviivainen tapa taata polttoaineissa tietty uusiutuvan energian minimiosuus. Nykyisellä rakenteella velvoitejärjestelmä ei kuitenkaan mahdollista sitä, että yksittäinen taho voisi omilla toimillaan aidosti lisätä biopolttoaineiden käyttöä. EU:n säännöstö ei salli velvoitteiden ja veronalennusten samanaikaista käyttöä. Täysihintaisena ja täysillä veroilla, ilman jakeluvelvoitteen ”vetoapua”, uusiutuvan moottoripolttoöljyn hinta olisi noin 1,70€/l.

2.8.1 Jakeluvelvoitteen luonnehdinta

Suomessa on ollut moottoribensiiniä ja dieselöljyä koskeva biopolttoaineiden jakeluvelvoite vuoden 2008 alusta lähtien (laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä). Aluksi painopiste oli biopolttoaineiden ja uusiutuvan energian edistämiseen tähtäävien direktiivien velvoitteiden täyttämisessä, mutta sittemmin painopiste on siirtynyt liikenteen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen.

Biopolttoaineiden jakeluvelvoitejärjestelmä on periaatteeltaan varsin selväpiirteinen ja yksinkertainen. Se on neutraali kaikille bensiinin ja dieselin jakelijoille, jolloin toimijoilla on vapaus pitkälti toteuttaa liikenteen säädetyt päästövähennykset tuomalla aidosti biopolttoaineita tieliikenteeseen. Päästövähennysten toteutuminen ei ole kiinni kuluttajien valinnoista, eikä se edellytä esim. tietyn polttoainelaadun tai autotyypin valintaa.

Energiaosuuksiin perustuva järjestelmä on suoraviivainen ja puolustettavissa sen takia, että kaikki biopolttoaineet lasketaan liikenteen CO₂-päästötaseessa nollapäästöisiksi. Hyväksi laskettavien biopolttoaineiden todelliset elinkaaren päästövähennykset varmistetaan soveltamalla EU:n direktiiveissä olevia kestävyyskriteerejä, jotka on kansallisesti toimeenpantu kestävyyslailla (393/2013).

2.8.2 Velvoitetasot

Velvoitteen toimeenpanossa voidaan erotella kolme vaihetta:

- 2008–2010
- 2011–2020
- 2021–2029

Ensimmäinen vaihe tukeutui direktiiviin 2003/30/EY²⁶ liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä. Direktiivi ei ollut sitova, vaan se asetti uusiutuvien polttoaineiden tavoitteeksi 5,75 % laskettuna energiasisällön perusteella kaikesta 31.12.2010 mennessä markkinoille saatetusta liikennekäyttöön tarkoitetusta bensiinistä ja dieselöljystä.

Vuonna 2007 annetussa laissa 446/2007²⁷ asetettiin seuraavat tavoitteet biopolttoaineiden energiaosuuksille:

- 2 % vuonna 2008
- 4 % vuonna 2009
- 5,75 % vuonna 2010 ja siitä eteenpäin

Laissa oli kuitenkin maininta, että tasoista säädetään erillisellä valtioneuvoston asetuksella. Niinpä lopullinen vuoden 2010 taso oli vuoden 2009 tapaan 4 %.

Seuraava vaihe, 2011–2020, linkittyi direktiiviin 2009/28/EY²⁸ uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (RED), joka tuli voimaan 2009. Kyseinen direktiivi, joka sisälsi myös kestävyyskriteerejä biopolttoaineille, velvoitti kaikkia jäsenvaltioita varmistamaan, että uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian osuus kaikissa liikennemuodoissa on vuonna 2020 vähintään 10 % liikenteen energian loppukulutuksesta kyseisessä jäsenvaltiossa. Direktiivi sisälsi lisäksi ns. tuplalaskennan: jätteistä, tähteistä, muiden kuin ruokakasvien selluloosasta ja lignoselluloosasta tuotetuilla biopolttoaineilla katsotaan olevan kaksinkertainen painoarvo muihin biopolttoaineisiin nähden. Jos jäsenvaltio täytti velvoitteensa pelkästään kaksoislaskettavilla biopolttoaineilla, 5 % riitti velvoitteen saavuttamiseksi. Myös Suomessa otettiin käyttöön tuplalaskenta.

Lakia 446/2007 päivitettiin muun muassa RED-direktiiviin perustuen vuonna 2010 annetulla lailla 1420/2010²⁹. Lain päivityksen tavoitteina oli

- huomioida RED-direktiivin kestävyyskriteerit
- mahdollistaa kansallisesti asetettu korkea liikenteen uusiutuvan energian tavoite
- edistää kehittyneiden biopolttoaineiden markkinoille tuloa (tuplalaskenta) ja
- varmistaa se, että liikenne kokonaisuudessaan täyttää EU:n 10 %:n uusiutuvan energian velvoitteen, vaikka jakeluvelvoite kohdistuu käytännössä vain tieliikenteeseen.

Laissa 1420/2010 päätetyt biopolttoaineiden energiaosuuksien tavoitetasot, ottaen huomioon tuplalaskennan, olivat:

- 6 % vuosina 2011–2014;
- 8 % vuonna 2015;
- 10 % vuonna 2016;
- 12 % vuonna 2017;
- 15 % vuonna 2018;
- 18 % vuonna 2019;
- 20 % vuonna 2020 ja sen jälkeen.

²⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0030&from=FI>

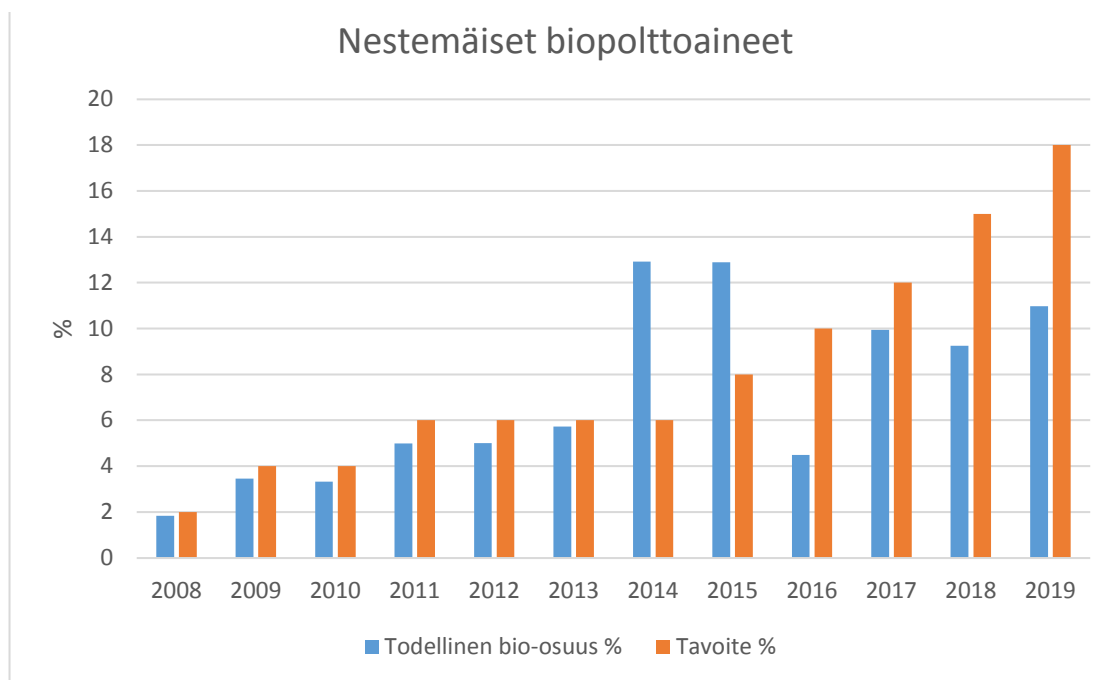
²⁷ <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070446>

²⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=FI>

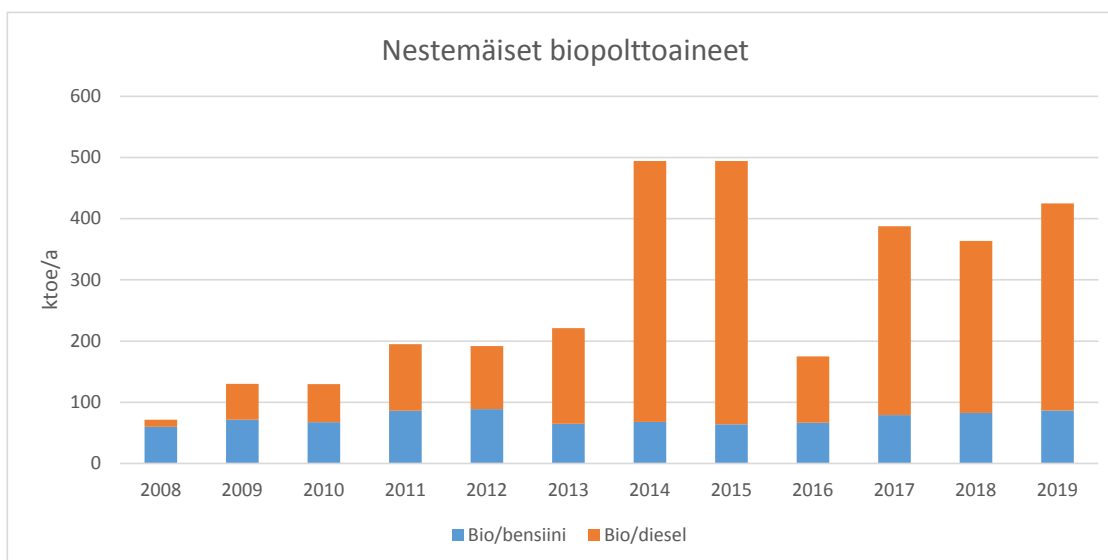
²⁹ <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101420>

Vuoden 2020 tavoitetaso tieliikenteen osalta oli siis kaksinkertainen verrattuna EU:n tavoitetasoon koko liikennesektorin osalta (10 %). Päivitetty jakeluvelvoite painottui laskennallisiin uusiutuvan energian osuuksiin. Kytkeä liikenteen hiilidioksidipäästöihin oli tietenkin olemassa, mutta tuplalaskennan takia päästöjä vähentävä vaikutus oli pienempi kuin laskennallinen uusiutuvan energian osuus. Vuonna 2017 lakiin tehtiin tiettyjä tarkennuksia kestävyyskriteereihin liittyen.

Kuvassa 7 on esitetty toteutuneet todelliset biopolttoaineiden energiaosuudet vuosina 2008–2019 (2019 uusin tilastovuosi) ja lainsäädännössä määritetyt tavoitetasot (tuplalaskenta huomioiden). Seuraavaan kuvaan (kuva 8) on koottu toteutuneet biopolttoainemäärät bensiinissä ja dieselissä. Lähteenä on Tilastokeskus³⁰.



Kuva 7: Todellinen biokomponenttien energiaosuus ja jakeluvelvoitteen tavoite nestemäisissä biopolttoaineissa³⁰.



Kuva 8: Toteutuneet bensiinin ja dieselpolttoaineen biokomponenttien määrät³⁰.

³⁰ http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehk/statfin_ehk_pxt_12sz.px/

Biopolttoainemäärissä on ollut huomattavaa vuosikohtaista vaihtelua johtuen siitä, että jakeluvolyymit sallii ns. ylitäytön, jolloin jakelija voi siirtää vuotuisen tavoitteen ylittävän jaeltujen biopolttoaineiden osuuden seuraavalle vuodelle täyttääkseen veloitetta. Todellinen bio-osuus oli vuosina 2014 ja 2015 noin 13 % (n. 500 ktoe), ja se romahti 4,5 %:iin (n. 175 ktoe) vuonna 2016. Kuvassa 8 nähdään myös, että dieselin uusiutuvien komponenttien osuus oli aluksi alhainen, 16 %, mutta se on sittemmin noussut 80 %:iin biokomponenttien kokonaismäärästä. Vuoden 2019 biopolttoainemäärä oli 425 ktoe, ja sen todellinen prosentuaalinen osuus oli 11 %. Merkittävä osa Suomessa vuosina 2011–2019 käytetyistä biopolttoaineista on kuulunut tuplalaskennan piiriin.

Alkuvuodesta 2018 valtioneuvoston kanslia käynnisti selvityshankkeen ”Biopolttoaineiden kustannustehokkaat toteutuspolut vuoteen 2030³¹. Työssä esitettiin vaikutusarvio liikenteen biopolttoaineiden osuuden nostamisesta 30 %:iin Suomessa vuoteen 2030 mennessä, minkä tarkoituksena oli pohjustaa jakeluvolyymien päivittämistä. Työssä tehdyt laskelmat osoittivat, että -50 %:n päästövähennystavoitteen saavuttamiseksi vuonna 2030 tarvitaan n. 800 ktoe nestemäisiä biopolttoaineita eli n. 30 % nestemäisten liikennepolttoaineiden määrästä. Tämä tulos vastasi vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategiassa esitettyä arviota.

Niinpä jakeluvolyymit **päivitettiin uudelleen jaksolle 2021–2029** vuonna 2019 annetulla lailla 419/2019³². Taustalla olivat niin liikenteelle asetetut, taakanjakopäätöksestä johdetut kunnianhimoiset päästövähennystavoitteet kuin uusiutuvan energian edistämistä koskevan direktiivin (RED II) päivitys. Samassa yhteydessä säädettiin lisäksi laki 418/2018 biopolttoöljyn käytön edistämisestä³³.

Koska uudistetun liikenteen jakeluvolyymien ensisijainen tavoite on CO₂-päästöjen merkittävä vähentäminen, tuplalaskenta poistuu vuodesta 2021 alkaen. Vaadittavat biopolttoaineosuudet ovat:

- 18,0 % vuonna 2021;
- 19,5 % vuonna 2022;
- 21,0 % vuonna 2023;
- 22,5 % vuonna 2024;
- 24,0 % vuonna 2025;
- 25,5 % vuonna 2026;
- 27,0 % vuonna 2027;
- 28,5 % vuonna 2028;
- 30,0 % vuonna 2029 ja sen jälkeen.

Lisäksi, samaan tapaan kuin RED II:ssa, asetettiin alarajat kehittyneille biopolttoaineille, tosin kunnianhimoisemmin tavoittein. Jakeluvolyymista on täytettävä RED II:n liitteen IX A osassa tarkoitetuista raaka-aineista tuotetuilla tai valmistetuilla biopolttoaineilla (lisävelvoite)

- 2 prosenttiyksikköä vuosina 2021–2023;
- 4 prosenttiyksikköä vuosina 2024 ja 2025;
- 6 prosenttiyksikköä vuosina 2026 ja 2027;
- 8 prosenttiyksikköä vuonna 2028;
- 9 prosenttiyksikköä vuonna 2029;
- 10 prosenttiyksikköä vuonna 2030 ja sen jälkeen.

Kehittyneiden biopolttoaineiden kansallinen tavoite vuodelle 2030 on siis noin kolminkertainen RED II:n minimivaatimukseen (3,5 %) verrattuna. Edistysellisten biopolttoaineiden korkean alarajan tavoitteen ensisijainen tarkoitus oli uusien kotimaisten tuotantolaitosten käynnistymisen vauhdittaminen ja varmuuden luominen teollisuuden alalle.

³¹ http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161074/63-2018-Biopolttoaineiden_kustannustehokkaat_toteutuspolut_vuoteen_2030_.pdf

³² <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190419>

³³ <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190418>

Polttoöljyn osalta bio-osuus on 3 % vuonna 2021, ja se nousee tasaisesti 10 %:iin vuoteen 2030 mennessä.

2.8.3 Jakeluvuoroituksen mahdollinen laajentaminen

Työ- ja elinkeinoministeriö teetti vuonna 2020 konsulttiselvityksen ”Jakeluvuoroituksen laajentaminen³⁴”. Selvitystyön tavoitteena oli tuottaa tietoa jakeluvuoroituksen kehittämiseksi niin, että liikenteen kasvihuonekaasujen vähentämistavoitteet toteutuisivat mahdollisimman kustannustehokkaasti sekä teknologianeutraalisti. Lisäksi arvioinnissa painotettiin sitä, että laajennus on toteutettavissa mahdollisimman pienin muutoksin nykyjärjestelmään ja että jakeluvuoroitetta voidaan pitää tehokkaana edistämiskeinona kyseisen polttoaineen tai energialähteen osalta.

Selvityksen päätarkoituksena oli arvioida kaikkien uusitun uusiutuvan energian direktiivin (RED II) mukaisten liikenteen uusiutuvan energian velvoitteisiin hyväksyttävien polttoaineiden ja energialähteiden soveltuvuutta kansalliseen jakeluvuoroitejärjestelmäämme.

Käytännössä selvityksessä arvioitiin jakeluvuoroituksen laajentamista:

- liikennekaasuun (metaani)
- sähköpolttoaineisiin
- kierrätettyihin hiilipitoisiin polttoaineisiin
- liikennesähköön.

Tällä hetkellä biometaani on ainoa energiaveroista vapaa liikennepolttoaine. Jos metaani otettaisiin mukaan jakeluvuoroitukseen, biometaani olisi saatettava verotuksen piiriin, sillä EU:n säännökset eivät salli verottomuuden ja velvoitteen yhdistelmää.

Sähköpolttoaineet valmistetaan uusiutuvasta vedystä ja talteenotetusta CO₂:sta, helpoimmin savukaasuista ja periaatteessa myös ilmasta. Kyse on siis hiilen kierrättämisestä uusiutuvasta sähköstä tuotetun vedyn alulla. Tekniikka on vielä kokeiluasteella, mutta voisi mahdollisesti kaupallistua tämän vuosikymmenen loppuun mennessä. Tällä ns. Power-to-X (PtX) -teknologialla voidaan tuottaa sekä kaasu- että nestemäisiä polttoaineita ja luonnollisesti myös vetyä (ilman CO₂:n kierrätystä).

Kierrätyspolttoaineissa on kyse esimerkiksi muovijätteestä tuotetuista polttoaineista.

Selvityksen mukaan ainoastaan metaani (liikennekaasu) ja sähköpolttoaineet voitaisiin liittää jakeluvuoroitukseen. Biometaanin osalta tämä siis edellyttäisi verollepanoa. Koska sähköpolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjen vähennysten arviointimenetelmät ovat vielä osittain määrittelemättä, tulisi ne tuoda jakeluvuoroituksen piiriin polttoainekohtaisesti vasta sähköpolttoaineiden täyttäessä Euroopan komission asettamat kestävyyskriteerit.

Kierrätyspolttoaineiden tuomista jakeluvuoroituksen piiriin ei katsottu perustelluksi. RED II:n mukaan ne voitaisiin periaatteessa lukea mukaan uusiutuvan energian velvoitteeseen. Ne eivät kuitenkaan merkittävästi vähennä kasvihuonekaasupäästöjä, mikä on jakeluvuoroituksen perimmäinen tarkoitus. Sähkö (ja myös vety) lasketaan aina nollapäästöiseksi liikenteen CO₂-taseessa, joten liikennesähkön sisällyttäminen velvoitteeseen ei tässä mielessä toisi mitään muutosta. Jos liikennesähkö kuitenkin tuotaisiin velvoitteen piiriin, tämä edellyttäisi merkittäviä muutoksia järjestelmän rakenteeseen.

Tavoitteena on nyt muokata jakeluvuoroitelakia selvityksen suositusten mukaisesti.

³⁴ <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/selvitys-suosittelee-liikenteen-biopolttoaineiden-jakeluvuoroituksen-laajentamista-liikennekaasuihin-ja-sahkopolttoaineisiin>

LVM:n fossiilittoman liikenteen tiekartasta⁹ löytyykin maininnat jakeluvelvoitteen laajentamiseen liittyen:

- Sisällytetään biokaasu (metaani) ja sähköpolttoaineet jakeluvelvoitteeseen.
- Nostetaan biopolttoaineiden jakeluvelvoite 34 prosenttiin.

Jälkimmäinen maininta liittyy siihen, että tähän mennessä liikenteessä käytetyt biometaanimäärät ovat olleet nestemäisten biopolttoaineiden jakeluvelvoitteen tuomien määrerienlisänä. LVM:n strategioihin sisältyy kaasun voimakas lisääminen raskaassa liikenteessä, ja velvoitetason nostolla halutaan varmistaa se, ettei biopolttoaineiden kokonaismäärä laske, kun kaasu sisällytetään velvoitteeseen.

2.8.4 Jakeluvelvoite ja korkeaseosteiset biopolttoaineet

Nykyinen jakeluvelvoite on asetettu niin, että kansallisesti saavutetaan juuri haluttu päästövähennys, jolloin kansantalouden kustannukset ovat myös rajatut. Alkuvuodesta 2020 julkisuudessa esitettiin huoli siitä, että esimerkiksi Nesteen MyDieselin (100-prosenttinen uusiutuva diesel) tankkaaminen ei vähennä kansallisia päästöjä lisähinnasta huolimatta, sillä jakelijat tasaavat jakeluvelvoitemäärät matalaseospolttonesteissä. Käytännössä jakelija voi siis jakaa kustannuksiltaan edullisempia matalaseospolttonesteitä tankattujen korkeaseospolttonesteiden sijasta siten, että jakeluvelvoitteen vaatima biopolttoaineiden energiasisällön kokonaismäärä kuitenkin saavutetaan liikenteessä (30 % vuonna 2030). Toisaalta, jos esimerkiksi 100-prosenttista uusiutuvaa dieseliä tai moottoripolttoöljyä ei lasketa hyväksi jakeluvelvoitteeseen, näiden tuotteiden verollinen pumppuhinta nousisi huomattavan korkeaksi.

Nykyinen tilanne luo kannusteen kuluttajille, yrityksille ja yhteisöille valita korkeaseospolttoaineella toimivia ajoneuvoja muiden käyttövoimien sijaan, koska korkeaseospolttoaineiden hinta on nykytilanteessa niiden todellista markkinahintaa alhaisempi. Kansallisen sääntelijän näkökulmasta kannustaminen korkeaseospolttoaineisiin käyttövoimana ei luo päästövähennyksiä. Jos biometaani tuodaan velvoitteen piiriin, nämä ongelmat tulevat koskemaan myös sen käyttöä, eli puhtaan biometaanin valinta kaasuaajoneuvoa tankattaessa ei toisi enää kansallisia päästövähennyksiä.

Tästä ongelmastiikasta on keskusteltu myös HSL:n tilaaman bussiliikenteen yhteydessä³⁵. HSL maksaa ns. ympäristöbonusjärjestelmän perusteella liikennöitsijöille lisäkorvausta uusiutuvien polttoaineiden käytöstä. Vastaava ongelma tulisi vastaan myös Vuosaaren satamassa, jos työkoneissa siirryttäisiin nykyjärjestelmän puitteissa uusiutuvan moottoripolttoöljyn käyttöön. Paikallisesti laskennalliset CO₂-päästömäärät vähentyisivät, mutta jakeluvelvoitemekanismin takia päästöt eivät vähentyisi valtakunnan tasolla.

Ruotsissa tilanne on toisenlainen: korkeaseosteiset biopolttoaineet ovat laajamittaisessa käytössä mm. bussiliikenteessä ja satamatoiminnoissa. Ruotsissa jakeluvelvoite on asetettu vain normaaleille matalaseospolttonesteille (benssiini EN 228 ja diesel EN 590). Tosin Ruotsin järjestelmä ei ole suoranainen jakeluvelvoite, vaan velvoite vähentää CO₂-päästöjä (Reduktionsplikt³⁶). Vaikutus on kuitenkin sama.

Korkeaseoksiset (yli 85-prosenttisesti uusiutuvat) polttoaineet on jätetty velvoitteen ulkopuolelle ja verottomiksi tai alennetuille verotasoille. Korkeaseoksisia biopolttoaineita Ruotsissa ovat HVO100, B100, ED95 (etanolidiesel), E85 (flex-fuel-etanoliautojen polttoaine) ja biometaani. Tällöin jakelijat eivät tasaa jakeluvelvoitemääriään korkeaseoksilla polttonesteillä, jolloin kuluttajien tankatessa

³⁵ Biopolttoaineiden demonstraatiohanke BioSata: Korkeaseosteisilla biopolttoaineilla hiilettömään kaupunkiliikenteeseen. Raportti VTT-R-00585-20.

³⁶ <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/reduktionsplikt/>

näitä polttoaineita he voivat vapaaehtoisesti vähentää liikenteen päästöjä kansallisesti, paikallisesti tai esimerkiksi toimialakohtaisesti. Periaatteessa Suomessa toteutuu tällä hetkellä Ruotsin malli biometaanin osalta, mutta ei jatkossa, jos metaani sisällytetään jakeluvelvoitteeseen.

Ruotsinkaan järjestelmä ei ole ongelmaton, koska se ei kaikilta osin täytä esimerkiksi EU:n valtiotukisäännöksiä. Niinpä Ruotsi onkin joutunut hakemaan toimintamallilleen poikkeuslupia komissiolta.

Kaikkienensa Suomen velvoitemalli on selkeämpi, koska siinä ei ole rinnan velvoitteita ja verotukia, ja se takaa joka tilanteessa tietyn biopolttoaineiden minimimäärän. Ruotsin mallissa biopolttoaineiden kokonaismäärä riippuu osittain loppukäyttäjien valinnoista, eikä kokonaisvaikutus ole välttämättä ennakoitavissa. Suomen järjestelmässä taas on ongelmana se, että jos joku toimija haluaisi vähentää päästöjä velvoitteita enemmän, tämä ei välttämättä toteudu valtakunnan tasolla tarkasteltuna.

2.8.5 Hintatarkastelu

Kuvassa 9 on avattu polttoaineiden, tieliikennepolttoaineiden ja moottoripolttoöljyn hinnanmuodostusta. Laskentapohja on täsmätty helmikuun 2021 alun hintatilanteeseen (kuva 10):

- tieliikennediesel 1,40 €/l
- uusiutuva tieliikennediesel 1,65 €/l
- moottoripolttoöljy 0,97 €/l.

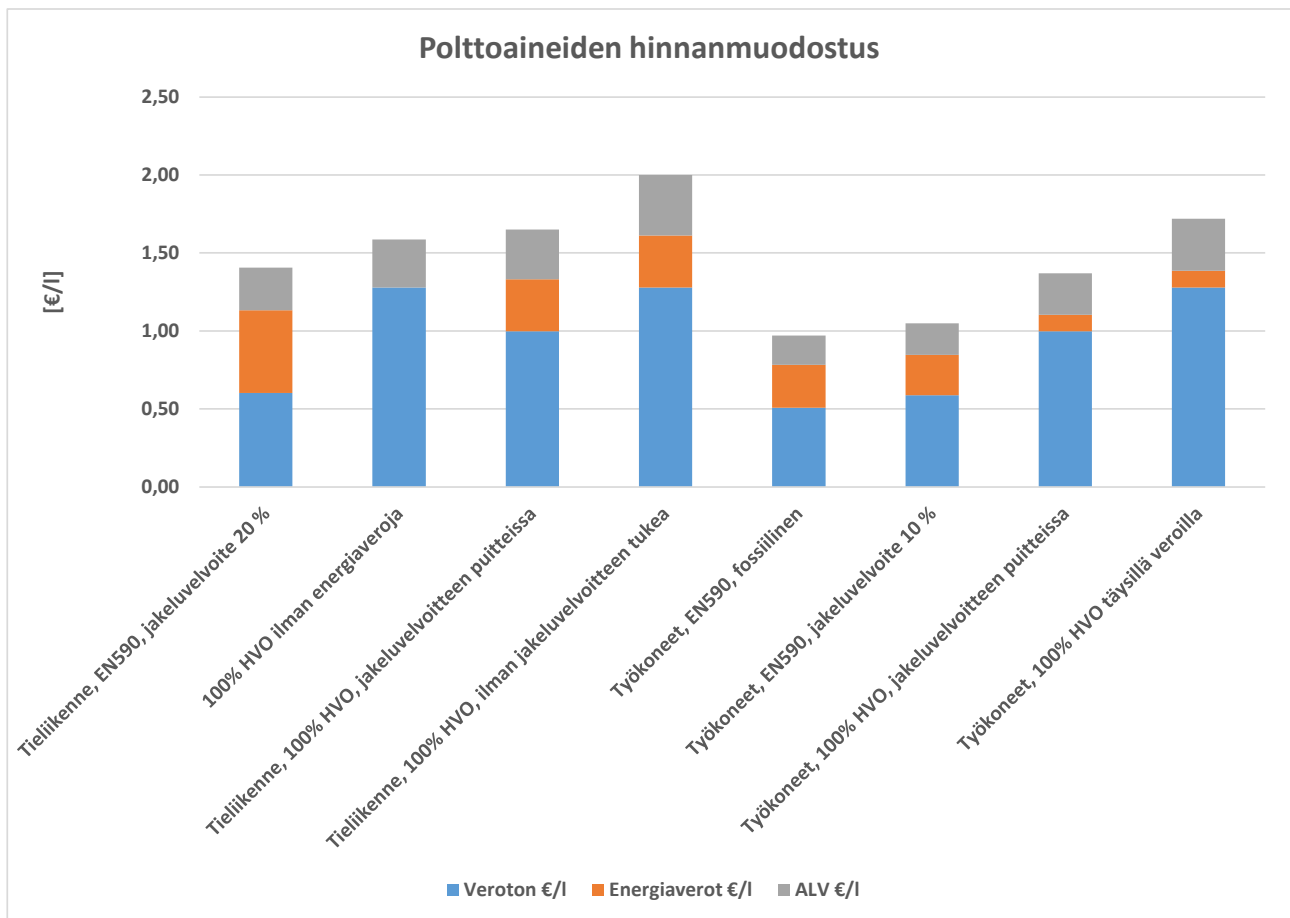
Bulkkihinnat on johdettu Nesteen Q4/2020-raportista³⁷, jonka perusteella voidaan laskea sekä öljytuotteiden että uusiutuvien tuotteiden keskimääräiset hinnat. Hintoina on käytetty 450 €/t diesel-polttoaineelle ja 1 480 €/t uusiutuvalle dieselille (HVO). Näihin on lisätty arvioitu jakelukustannus ja jakelun kate niin, että 100-prosenttisesti uusiutuvalle dieselille on arvioitu tavanomaisia polttoainelaatuja hieman korkeampi jakelukustannus ("erillisjakelu"). Verottomien hintojen päälle on sen jälkeen lisätty vuoden 2021 energiaverot ja arvonlisävero.

Kuvassa 9 on näytetty seuraavat tapaukset dieselpolttoaineelle:

- tieliikenne:
 - nykyinen pumppuhinta (oletettu, että todellinen bio-osuus on 20 %)
 - 100-prosenttisen HVO:n pumppuhinta (jakeluvelvoitteen puitteissa toimitettaessa)
 - 100-prosenttisen HVO:n täysi hinta (ilman jakeluvelvoitteen tukea)
 - 100-prosenttinen HVO ilman energiaveroja (tieliikenne tai työkonikäyttö)
- työkonet:
 - nykyhintaa (oletettu fossiiliseksi, ei huomioitu pientä bio-osuutta)
 - hinta nykytilanteessa, jos bio-osuus olisi 10 % (vaatimus vuodelle 2030)
 - 100-prosenttisen HVO:n hinta (jakeluvelvoitteen puitteissa toimitettaessa)
 - 100-prosenttisen HVO:n täysi hinta (ilman jakeluvelvoitteen tukea).

Laskelma on suuntaa antava, mutta antaa riittävän hyvän kuvan hinnanmuodostuksesta. Pumppuhintojen osalta syntyy haasteita, koska uusiutuvan dieselin bulkkihinta on noin 3,5-kertainen fossiiliseen dieseliin verrattuna.

³⁷ <https://www.neste.fi/konserni/sijoittajat/materiaaliarkisto>



Kuva 9: Tieliikennepolttoaineiden ja moottoripolttoöljyn hinnanmuodostus.



Kuva 10: Pumppuhintoja Espoossa 3.2.2021. Kuva Petri Söderena.

Tavanomaisen dieselin 20 %:n bio-osuus vaikuttaa jo tuntuvasti ”normidieselien” hinnanmuodostukseen. Nyt tieliikenteeseen myytävä 100-prosenttinen uusiutuva diesel saa ”vetoapua” jakeluveroitteesta, kun hintaisä pumpulla on 0,25 €/l. Velvoitteen ulkopuolella täysillä veroilla uusiutuvan dieselin hinta olisi 2,00 €/l (+0,60 €/l). Ilman energiaveroja (Ruotsin malli) hinta olisi 1,59 €/l

käyttökohteesta riippumatta (tieliikenne tai työkoneet). Lisä tavanomaiseen tieliikennedieseliin olisi 0,19 €/l.

Moottoripolttoöljyn tarkastelussa on oletettu, että nykyhetkellä käytössä oleva työkonepolttoaine on täysin fossiilista (polttoöljyn biovaatimus vuodelle 2021 on 3 %). Tämän rinnalle on laskettu vaihtoehto, jossa on vuoden 2030 tavoitteen mukainen 10 %:n bio-osuus.

Hintaerot tämänhetkiseen tilanteeseen verrattuna (polttoainehinta 0,97 €/l, luvut pyöristetty):

- 10 % biokomponenttia sisältävä polttoaine: +0,10 €/l
- 100-prosenttinen HVO jakeluvelvoitteen piirissä: +0,40 €/l
- 100-prosenttinen HVO ilman energiaveroja: +0,60 €/l
- 100-prosenttinen HVO jakeluvelvoitteen ulkopuolella: +0,75 €/l

Jos uusiutuvalle moottoripolttoöljylle oletetaan vastaava vetoapu jakeluvelvoitteesta kuin tieliikennepuolella, hintalisäksi tulee siis arviolta 0,40 €/l (+0,30 €/l verrattuna 10 % biokomponenttia sisältävään polttoaineeseen). Uusiutuvaa moottoripolttoöljyä ei vielä toistaiseksi myydä ja hinnoitella samalla tavalla kuin tieliikenteen uusiutuvaa dieseliä, joten lopullinen hintakuva jää toistaiseksi arvailujen varaan.

Lisäksi on huomioitava, että litramääräinen kulutus kasvaa lämpöarvoerojen johdosta 2,5–3 % uusiutuvaan dieseliin siirryttäessä³⁸.

³⁸ Biopolttoaineiden demonstraatiohanke BioSata, https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/35379518/VTT_R_00585_20.pdf

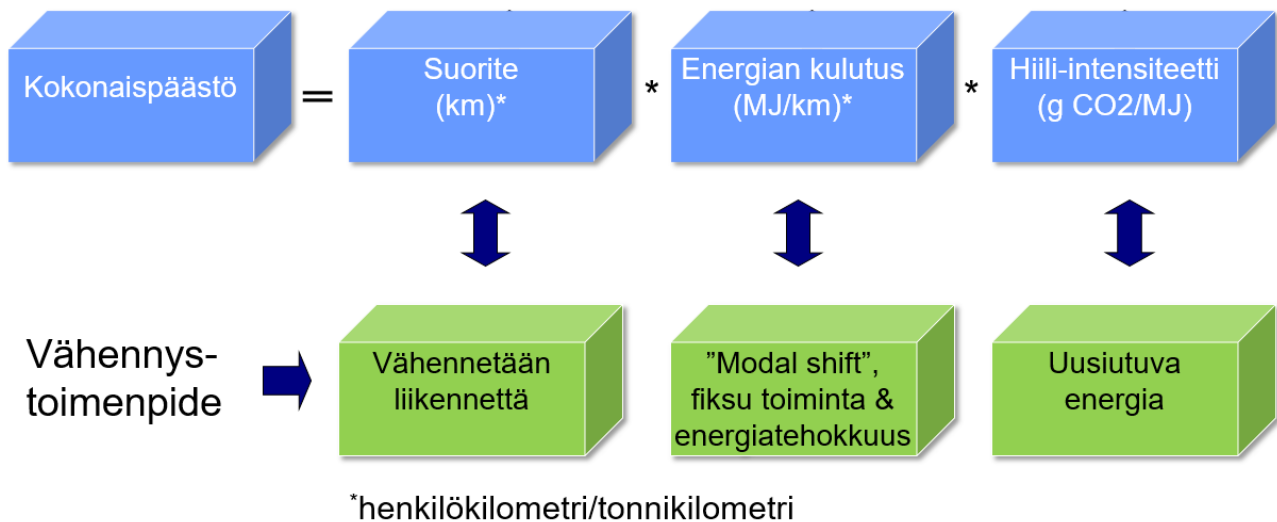
3. Keinot vähentää työkoneiden hiilidioksidipäästöjä

Kappaleen tiivistelmä

- CO₂-päästöt määräytyvät työsuoritteiden, energian ominaiskulutuksen ja käytetyn energian hiili-intensiteetin perusteella.
- **Päästöjä vähentävät toimenpiteet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:**
 1. toimenpiteet, joita voidaan soveltaa olemassa olevaan kalustoon
 2. toimenpiteet, jotka edellyttävät uutta konekalustoa
 3. toimenpiteet, jotka edellyttävät sekä uutta konekalustoa että uutta infrastruktuuria.
- Pääsääntö on, että käytetty energia (fossiilinen/uusiutuva) määrää todelliset CO₂-päästöt eikä niinkään koneessa käytetty teknologia.
- **Taselaskennassa biopolttoaineiden, sähkön ja vedyn loppukäyttö lasketaan nollapäästöiseksi.**
- **Uusiutuva parafiininen dieselpolttoaine (HVO) ei edellytä muutoksia työkoneisiin eikä infrastruktuuriin, ja se voidaan käytännössä ottaa käyttöön ”yhdessä yössä”.**
- **Suomessa käytössä oleva jakeluvelvoitemekanismi tarkoittaa kuitenkin sitä, että paikallisesti lisääntyvä biopolttoaineen käyttö vähentää käyttöä muualla.**
- Uudet työkoneet ovat järjestään energiatehokkaampia kuin vanhat parempien moottoreiden, ohjausjärjestelmien ja toimilaitteiden ansiosta.
- Pelkästään moottoreiden kehittämisellä ei saada aikaiseksi kovin merkittäviä päästövähennyksiä, vaan työkoneita on katsottava kokonaisuutena.
- **Sopivassa sovelluskohteessa uudella hybridikoneella voidaan saavuttaa jopa 50 %:n polttoaineen kulutuksen säästö ja sitä kautta vastaava CO₂-päästöjen alenema.**
- **Varsinaisiin sähkökoneisiin siirtyminen mahdollistaa huomattavan energiatehokkuuden parantamisen ja CO₂-päästöjen alentamisen.**
- Laskentatavasta riippumatta (taselaskennan nollapäästöisyys, todelliset päästöt suomalaisella keskimääräisellä sähköllä) sähkön hyödyntäminen laskee päästöjä, ja koska sähkö ei ole minkään velvoitteen piirissä, sähköön siirtyminen lisää aidosti vähähiilisen energian käyttöä.
- **Sähköön siirtyminen edellyttää kuitenkin latausinfrastruktuurin rakentamista, eikä sähköistys välttämättä sovellu kaikkiin koneryhmiin joko teknisten, taloudellisten tai operointiin liittyvien rajoitteiden takia.**
- Energiankulutuksen vähentäminen on mahdollista hybridi- ja akkusähköisiä sekä maasähköllä toimivia työkoneita käyttämällä, mutta jossakin määrin myös uusimalla vanhaa konekantaan uusilla polttomoottorikäyttöisillä koneilla.
- Koneiden käyttöä tehostamalla (suoritteiden optimointi, joutokäynnin välttäminen, tulevaisuudessa automatisointi jne.) voidaan niin ikään vähentää polttoaineenkulutusta ja päästöjä. Uusiutuvat polttoaineet voidaan ottaa käyttöön välittömästi, kun taas sähköistäminen edellyttää uutta konekalustoa ja infrastruktuuria. Sähköisiä koneita on jo tarjolla jossakin määrin, ja pikalataukseen voidaan hakea oppia esim. kaupunkibusseista. Myös polttokennoteknologia mahdollistaisi päästöttömyyden ja energiankulutuksen alentamisen, mutta satamatyökoneiden osalta tämä teknologia ei ole vielä edennyt kaupalliselle asteelle.

3.1 Yleistä

Keinovalikoima työkoneiden hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä on periaatteessa lähes sama kuin tieliikenteen puolella. Päästöt määräytyvät suoritteiden, energiankulutuksen ja käytetyn energian hiili-intensiteetin perusteella (kuva 11).



Kuva 11: CO₂-päästöjen muodostuminen ja niihin vaikuttaminen.

Tieliikennesektorilla tuodaan usein esille suoritteiden pienentäminen, varsinkin henkilöautojen osalta, ja sen taustalla on etenkin toivottava siirtyä henkilöautoista joukkoliikenteen käyttöön. Varsinaisten työsuoritteiden vähentäminen satamatoiminnoissa ei kuitenkaan liene mahdollista, koska kyse on hyödyllisestä työstä. Toimintojen optimoinnilla voitaneen kuitenkin vähentää turhaa ajoa ja joutokäyntiä ja näin lisätä varsinaisen hyödyllisen suoritteen osuutta. Näin ollen toimenpiteet ovat satamatyökoneiden osalta:

1. energiatehokkuuden parantaminen järjestelmätasolla, vrt. kuvan 11 suoritelaitikko ja vähennystoimenpiteenä järjestelmään kuuluvien koneiden tehokkaampi käyttö operointitasolla
2. energiatehokkuuden parantaminen yksittäisen koneen tasolla, vrt. energiankulutuslaitikko ja vähennystoimenpiteenä yksittäisen koneen optimoitu käyttö tai koneen vaihtaminen energiatehokkaampaan versioon
 - a. teknisten parannusten osalta voidaan erottaa itse voimanlähde ja ajoneuvokokonaisuus
3. uusiutuvien tai vähähiilisten polttoaineiden tai energiamuotojen käyttö, vrt. hiili-intensiteettilaitikko ja vähennystoimenpiteenä biopolttoaineet ja sähkö, myöhemmässä vaiheessa mahdollisesti vety.

Suoritetasolla (yllä kohta 1) esimerkiksi koneiden käyttötapoja tehostamalla, käyttäjiä kouluttamalla, seurantarjestelmiä kehittämällä ja vaikkapa joutokäynnin minimoimisella voidaan saada aikaan polttoaineen säästöjä ja sitä kautta päästövähennyksiä. Seuraavassa keskitytään kuitenkin tarkemmin koneiden energiatehokkuuden parantamiseen teknisin keinoin ja uusiutuvaan/vähähiiliseen energiaan, yllä kohdat 2 ja 3.

Kuten edellisessä luvussa todettiin, sekä liikenteen että työkoneiden CO₂-päästötaseissa biopolttoaineet, sähkö ja vety lasketaan loppukäytön osalta nollapäästöisiksi. Kestävästi tuotettuja sähkö-

polttoaineita tullaan todennäköisesti käsittelemään vastaavalla tavalla. Toimenpiteet voidaan jaotella kolmeen ryhmään sen perusteella, mitä ne edellyttävät kalustolta ja infrastruktuurilta (kuva 12):

1. voidaan soveltaa olemassa olevaan kalustoon
2. edellyttävät uutta konekalustoa
3. edellyttävät sekä uutta konekalustoa että uutta infrastruktuuria.

Kaluston mahdollisimman tehokas käyttö!

Vaihtoehto nyt:

- uusiutuva diesel

Vaihtoehto tulevaisuudessa

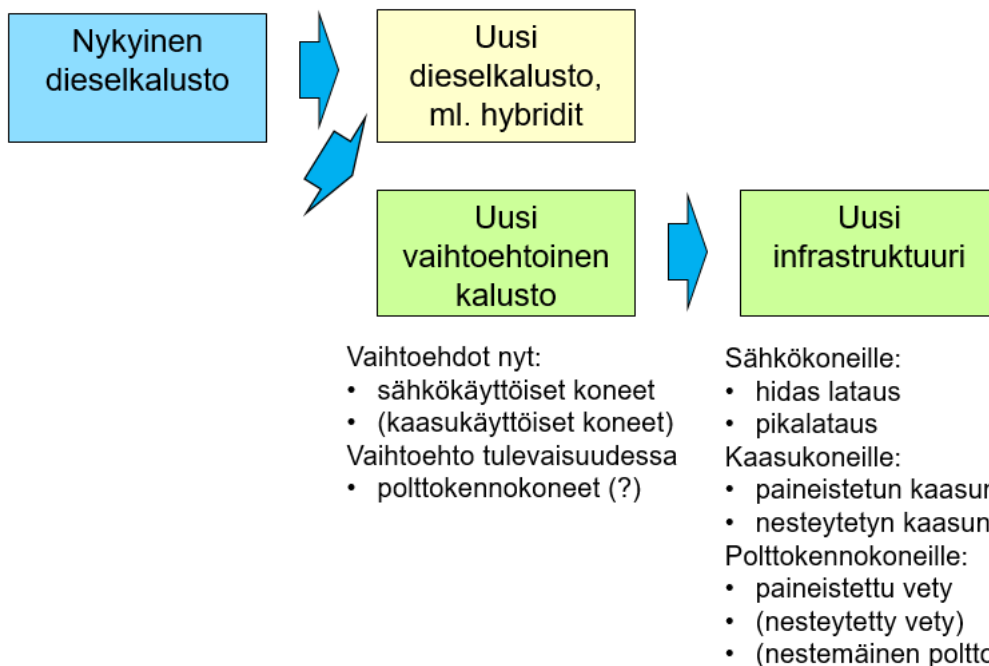
- sähköpolttoaineet (?)

Vaihtoehto nyt:

- uusiutuva diesel

Vaihtoehto tulevaisuudessa

- sähköpolttoaineet (?)



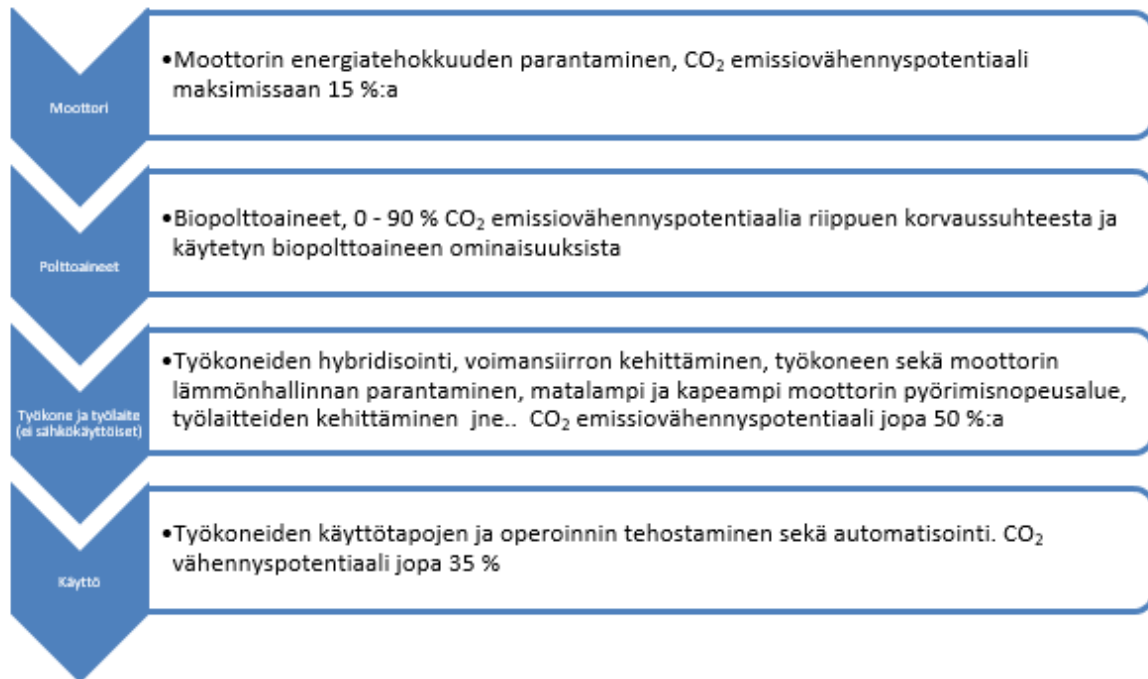
Kuva 12: Työkonekaluston tekniikka- ja polttoainevaihtoehdot.

Tämä jaottelu asettaa tietyllä tavalla toimenpiteet myös automaattisesti aikajärjestykseen. Nykykalusto on kokonaan dieselkäyttöistä, ja siirtyminen uusiutuvaan dieseliin voisi käytännössä tapahtua vaikka yhdessä yössä. Sähkökoneisiin siirtyminen ei välttämättä suju käden käänteessä, koska se vaatii useamman osapuolen yhteistyötä ja tietynlaisen toimintaekosysteemin. Oppia sähköön siirtymiseen on haettavissa bussipuolelta, jossa tutkimus- ja pilotointihankkeiden kautta on nyt jo siirrytty kaupalliseen toimintaan.

Eri vaihtoehtoja punnittaessa on huomioitava:

- CO₂-päästöt määräytyvät ensisijaisesti käytetyn energian mukaan.
 - Käytetäänkö fossiilista vai uusiutuvaa energiaa.
 - Voimanlähteen tyypillä (poltto- tai sähkömoottori) on toissijainen merkitys.
- Haitalliset lähipäästöt (mm. typen oksidit ja hiukkaset) määräytyvät voimalähteen tyyppin mukaan.
 - Polttomoottorista tulee aina haitallisia päästöjä, joskin uusin moottori- ja pakokaasunpuhdistustekniikka on laskenut nämä päästöt hyvin alhaiselle tasolle.
 - Sähkö- ja polttokennoajoneuvot eivät tuota haitallisia päästöjä.

VTT teki vuonna 2016 Traficomien edeltäjälle Trafille selvityksen ”Työkoneiden CO₂ päästöt ja niihin vaikuttaminen” (raportti VTT-R-04745-16). Seuraavat kappaleet perustuvat osittain tähän raporttiin. Kuvassa 13 on raportissa esitetty arvio polttomoottorikäyttöisten työkoneiden CO₂-vähennyspotentiaalista.



Kuva 13: Arvio polttomoottorikäyttöisten työkoneiden CO₂-vähennyspotentiaalista.

Työkoneen energiankulutukseen vaikuttaa koneen energiatehokkuus sekä optimoitu mitoitus työtehtävää ajatellen. Sähköiset tai hybridityökoneet parantavat energiatehokkuutta merkittävästi. Myös uuden sukupolven dieselmoottorilla varustetut työkoneet tarjoavat vanhempia malleja paremman energiatehokkuuden. Työkoneen valinnalla voidaan vaikuttaa moottorin kuormitustasoon. Dieselmoottorin hyötysuhde riippuu voimakkaasti kuormitustasosta. Pääsääntönä voidaan todeta, että korkeammilla kuormitustasoilla ja matalammilla moottorin pyörimisnopeuksilla saavutetaan paras polttoainetalous.

Moottorin keskimääräistä kuormitustasoa voidaan siten nostaa valitsemalla kuhunkin työtehtävään sopivan tehoisella moottorilla varustettu työkone, jolloin saavutetaan pääsääntöisesti pienempi polttoaineenkulutus.

3.2 Moottoreiden hyötysuhteen parantaminen

Nykyiset tieliikenneajoneuvoissa ja työkoneissa käytettävät nopeakäyntiset dieselmoottorit saavuttavat parhaimmillaan noin 45 %:n hyötysuhteen. Hyötysuhteet tulevat nousemaan vielä jonkin verran, mutta pelkkä moottoreiden kehittäminen ei mahdollista CO₂-päästöjen tuntuva alentamista.

Nykyiset varsinaiset työkone-moottorit ovat lähes täysin dieselöljykäyttöisiä. Maailmalla on markkinoilla jonkin verran kaasukäyttöisiä moottoreita, mutta Suomessa niiden osuus on pieni. Pienemmissä moottorikokoluokissa kaasumainen polttoaine on joko nestekaasu (LPG) tai pai-

neistettu metaani (CNG, CBG³⁹), isoimmissa koneissa myös nesteytetty metaani (LNG, LBG⁴⁰). Markkinoilla on myös muutamia moottorivalmistajia, jotka valmistavat etanolia käyttäviä moottoreita pääosin Etelä-Amerikan markkinoille.

Nykyaikaiset työkonedieselmoottorit ovat turboahdettuja yhteispaineruiskutuksella varustettuja moottoreita, joissa on elektroninen moottorinohjaus. Moottoreissa käytettävä teknologia riippuu hyvin voimakkaasti moottorin tehotasosta ja päästöluokasta. Tyypillisesti matalan tehotason moottorit ovat teknologisesti pelkistetympiä kuin korkean tehotason moottorit johtuen kovasta kustannuspaineesta.

Stage V -määräysten mukaisissa uusissa moottoreissa on kehittynyt pakokaasujen jälkikäsitteilyteknikka. Tyypillinen konfiguraatio sisältää hapetuskatalysaattorin (DOC), typen oksidien pelkistyskatalysaattorin yhdistettynä urean syöttöön (SCR) ja hiukkassuodattimen (DPF). Lisäksi eräät valmistajat käyttävät pakokaasujen takaisinkierrätystä (EGR) suoraan moottorista ulos tulevan NO_x-tason alentamiseksi. Kuten kohdassa 2.5 todettiin, uusimmat työkonemoottorit vastaavat päästötasoltaan käytännössä tieliikennemoottoreita.

Energiatehokkuuden parantaminen moottoritasolla tarkoittaa moottorin hyötysuhteen parantamista. Nykyisten Stage V -työkonemoottoreiden moottoridynamometrissä mitattu hyötysuhde (break thermal efficiency, BTE) on parhaimmillaan noin 45 %:n tasolla, joka vastaa noin 195 g/kWh:n suuruista polttoaineen ominaiskulutusta.

VTT on hiljattain yhdessä kansainvälisten kumppaneiden kanssa toteuttanut IEA:n ”Advanced Motor Fuels” -tutkimussopimuksen puitteissa projektin ”HDV Performance Evaluation”. Parhaimpien raskaiden kuorma-autojen moottoreille mitattiin niin ikään 45 %:n hyötysuhde raskaan ajoneuvon käyttöä kuvaavan syklin yli. Raportissa esitetään, käynnissä oleviin tutkimushankkeisiin ja simulointeihin viitaten, seuraavat ennusteet moottoreiden hyötysuhteen parantamisen potentiaalista:

- 45 % BTE tässä ja nyt
- 50 % BTE ennen vuotta 2025
- 55 % BTE ennen vuotta 2030 (edellyttää todennäköisesti hukkalämmön talteenottoa)
- lopullinen potentiaali 60 % (edistykselliset/uudentyyppiset palamisjärjestelmät monomolekylaarisilla tai räätälöidyillä polttoaineilla).

Laivamoottoreiden hyötysuhdetta voidaan pitää jossain määrin mittapuuna työkonemoottoreille, ja tällä hetkellä parhaimmat nelitahtiset laivakonemoottorit saavuttavat noin 51 %:n hyötysuhteen, joka vastaa 165 g/kWh:n ominaiskulutusta⁴¹. Laivamoottorit hyötyvät matalasta ja kapeasta pyörimisnopeusalueesta sekä suuremmasta iskutilavuudesta, jolla on positiivinen vaikutus erityisesti moottorin sisäisiin kitkahäviöihin. Työkonemoottoreita ei aivan suoraan voi verrata tieliikennemoottoreihin eikä varsinkaan laivamoottoreihin erilaisista vaatimuksista ja kustannusrakenteista johtuen. Valistunut arvaus on, että työkonemoottori voi ajan saatossa yltää 50–55 %:n hyötysuhteeseen. Jos vertailutasona on 45 %, niin 55 %:n hyötysuhteella saataisiin alennettua pakoputkesta mitattua CO₂-päästöä 18 %:lla, ja vastaavasti 50 %:n hyötysuhteella sitä saataisiin alennettua 10 %:lla.

Ilmiselvää on kuitenkin se, ettei pelkällä moottoreiden kehittämällä saada aikaan kovin merkittäviä päästövähennyksiä.

Tämän hetken liikkuvien ajoneuvojen polttoaineenkulutukselle ja hyötysuhteelle on tyypillistä se, että paras polttoaineenkulutus saavutetaan kohtuullisen suppealla moottorin toiminta-alueella. Polttoaineenkulutus kasvaa jyrkästi tältä alueelta pois liikuttaessa, esimerkiksi siirryttäessä kor-

³⁹ CNG = compressed natural gas, CBG = compressed biogas

⁴⁰ LNG = liquified natural gas, LBG = liquified biogas

⁴¹ <http://www.wartsila.com/media/news/02-06-2015-new-wartsila-31-engine-achieves-guinness-world-records-title>.

keammalle moottorin pyörintänopeudelle, jolloin keskimääräinen polttoaineenkulutus on hyvin riippuvainen työkoneesta ja sen voimansiirrosta, työtehtävästä ja käyttöprofiilista. Koneiden oikealla valinnalla, käytöllä ja hybridisoinnilla voidaan vaikuttaa käytännön polttoaineenkulutukseen.

3.3 Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö

3.3.1 Yleistä

Periaatteessa on tarjolla sekä kaasumaisia (metaani, nestekaasu LPG) että nestemäisiä vaihtoehtoisia polttoaineita. Esim. metaanikäyttöisten työkonien tarjonta on kuitenkin varsin rajoitettua. Uusiutuva diesel taas soveltuu kaikkiin koneisiin. Jos vaihtoehtoisten polttoaineiden käytöllä halutaan vähentää CO₂-päästöjä, varsinaisten polttoaineiden joukosta pitää valita uusiutuvat vaihtoehdot. Kuten kohdassa 2.7 mainittiin, puhtaiden ajoneuvojen edistämistä koskeva direktiivi määrittelee kaikki 100-prosenttista vaihtoehtoista polttoainetta käyttävät ajoneuvot puhtaiden riippumatta siitä, onko polttoaine tai energia fossiilista vai uusiutuvaa alkuperää. Autojen ja työkonien kohdalla biopolttoaineet (oletettavasti myös tietyt kriteerit täyttävät sähköpolttoaineet), sähkö ja vety lasketaan päästötaseisiin nollapäästöisinä CO₂:n osalta.

3.3.2 Kaasumaiset polttoaineet

Metaani (maakaasu, biometaani) on ilmaa kevyempää, ja mahdollisesti vuotava kaasu nousee ylöspäin laimentuen. Metaani voidaan varastoida ajoneuvoon joko paineistettuna (CNG, CBG) tai nesteytettynä (LNG, LBG). Liikenne- ja viestintäministeriön linjauksissa nesteytetyllä metaanilla tulee olemaan merkittävä asema sekä raskaassa maantieliikenteessä että laivaliikenteessä. Jos nämä visiot toteutuvat, tämä merkinnee, että satamiin rakentuu LNG-infrastruktuuria, joka voisi palvella myös työkonien. Laivoissa käytetään aluksi nesteytettyä maakaasua (LNG), kun taas tieliikenteessä pyrkimyksenä on käyttää nesteytettyä biometaania (LBG), koska liikennekaasu tulee jakeluvoimien piiriin. Käytännössä fossiilista kaasua ja biometaania ei pystytä erottamaan toisistaan fyysisesti, ja biometaanin kauppa ja käyttö liikenteessä perustuu nytkin sertifikaatteihin, samalla tavalla kuin ns. vihreän sähkön kauppa.

Metaani ei sovellu perinteisen puristussytytteisen moottorin (dieselmoottorin) polttoaineeksi, vaan kaasu on sytytettävä joko kipinän (kipinäsytytteinen moottori) tai dieselpolttoaineen (ns. dual-fuel-moottori) avulla. Edellä mainitussa IEA AMF "HDV Performance Evaluation" -hankkeessa VTT mittasi sekä kipinäsytytysmoottoreilla että uusinta dual-fuel-tekniikkaa edustavalla ns. high-pressure direct injection (HPDI) -moottorilla varustettuja rekkavetureita.

Työkoneissa, jotka eivät ole jatkuvassa käytössä (ts. seisovat useita päiviä yhtäjaksoisesti), nesteytetyn metaanin (LNG, LBG) käyttö ei tule kuitenkaan kysymykseen, sillä työkonien seistessä osa nesteestä höyrystyy lämpenemisen johdosta, jolloin kaasua karkaa ilmakehään (ns. boil-off-ilmiö).

Kipinäsytytysmoottoreiden hyötysuhde on dieselmoottoreita huonompi, ja vaikka metaanin hiiliintensiteetti (n. 55 g CO₂/MJ) on edullisempi dieseliin (n. 73 g CO₂/MJ) verrattuna, lopputulos on, että kipinäsytytteinen kaasumoottori tuottaa likimain yhtä paljon CO₂-päästöjä pakoputken päästä mitattuna kuin perinteinen dieselmoottori. Dieselprosessilla toimiva HPDI-kaasumoottori sen sijaan on selvästi energiatehokkaampi, ja pakoputkesta mitattu CO₂-päästö alenee 15–20 %:lla dieselkäyttöön verrattuna. Tästä voidaan päätellä, että kiinnostus tämän tyyppisiin kaasumoottoreihin tulee kasvamaan tieliikenteessä, koska tekniikka auttaa aidosti autonvalmistajia vuosien 2025 ja 2030 CO₂-päästövähennystavoitteiden saavuttamisessa.

Biometaania käytettäessä kipinäsytytysmoottorin laskennallinen CO₂-päästö on nolla. Samaan päästään, jos HPDI-tyyppisessä dual-fuel-moottorissa käytetään uusiutuvaa dieseliä sytytyspolttoaineena (energiaosuus suuruusluokkaisesti 5 %) ja biometaania pääpolttoaineena. HPDI-tekniikka edellyttää, että polttoaine varastoidaan ajoneuvoon nestemuodossa (LNG, LBG), koska suoraruiskutuksen vaatima kaasupolttoaineen paineennosto tehdään energian säästämiseksi jo nestefaasissa.

Metaanikäyttöisten työkoneneiden tarjonta on toistaiseksi varsin rajoitettua. Tarjolla on yksittäisiä paineistetulla kaasulla toimivia maataloustraktoreita. USA:ssa ja etenkin Kaliforniassa on kuitenkin käytössä metaanilla toimivia satamatyökoneita, mm. terminaalitraktoreita⁴² (kuva 14). Myös suomalainen Cargotec on toimittanut kaasukäyttöisiä terminaalitraktoreita⁴³. Yleensä näissä on käytetty kipinäsytytteisiä Cummins-moottoreita. HPDI dual-fuel -tekniikkaa ei tiettävästi ole toistaiseksi sovellettu työkoneneisiin. Sen sijaan mm. isoissa dumpereissa käytettiin aikaisemmin yksinkertaisempaa, moottorin imusarjaan kaasua syöttävää dual-fuel-tekniikkaa. Ongelmana näissä moottoreissa on suuri palamattoman metaanin päästö, joka nostaa CO₂-ekvivalenttipäästön huomattavan korkealle.



Kuva 14: LNG-käyttöinen terminaalitraktori⁴².

⁴² https://www.newpowerprogress.com/news/LNG-For-Capacity-Terminal-Tractors/6001437_article

⁴³ <https://www.cargotec.com/en/nasdaq/trade-press-release-kalmar/2010/cargotec-delivers-breakthrough-lng-powered-terminal-tractors/>

Gasum tarjoaa maakaasua ja biometaania (biokaasuvaihtoehtoa) vaihtoehtona tankkausasemillaan. Kuvassa 15 on esitetty liikennekaasujen hinnoittelu⁴⁴. Maakaasuun kohdistuu tällä hetkellä lämmityspolttoainevero, ja biometaanista ei peritä lainkaan energiaveroja. Maakaasu on hyvinkin edullista, dieselevälväntä halvimmillaan noin 0,90 €/l. Biokaasu on verottomuudestaan huolimatta kalliimpaa, noin 1,00 €/l. Kuten edellä kerrottiin, tavoitteena on saattaa liikennekaasu jakeluvelvoitteen piiriin, mikä myös tarkoittaa biometaanin verollepanoa. Biometaanin hinnannousupaineita tässä tilanteessa voisi hillitä se, että biometaani lasketaan kehittyneeksi biopolttoaineeksi. Tästä voisi syntyä toimijoiden välille ns. tikettikauppaa, eli biometaani voisi korvata vieläkin kalliimpia kehittyneitä nestemäisiä biopolttoaineita.

Biokaasu	
Alue 1	
0,897 € / l*	1,40 € / kg
Alue 2	
0,929 € / l*	1,45 € / kg
Maakaasu	
Alue 1	
0,814 € / l*	1,27 € / kg
Alue 2	
0,859 € / l*	1,34 € / kg

Kuva 15: Liikennekaasujen hinnoittelu bensiniäkvälväntä ja kilohintana⁴⁴. Luettu 8.2.2021.

Nestekaasu (LPG) on varsin yleinen esimerkiksi pienemmissä haarukkatrukeissa. Fossiilinen nestekaasu ei kuitenkaan vähennä CO₂-päästöjä, ja uusiutuvien nestekaasujakeiden tuotanto on toistaiseksi hyvin rajallista. Koska nestekaasu on ilmaa raskaampaa, mahdollinen vuoto aiheuttaa helposti räjähdysvaaran. Niinpä nestekaasun käyttö ei ole mahdollista maanalaisissa tiloissa eikä esimerkiksi laivojen sisällä.

3.3.3 Nestemäiset vaihtoehtoiset polttoaineet

Dieselmootoreihin on tarjolla niin fossiilisia kuin uusiutuvia nestemäisiä polttoainevaihtoehtoja. Vaikka puhtaiden ajoneuvojen edistämistä koskeva direktiivi luokittelee synteettistä maakaasupohjaista dieselpolttoainetta (gas-to-liquids, GTL) käyttävän raskaan ajoneuvon puhtaaksi, tällainen polttoaine ei kuitenkaan vähennä CO₂-päästöjä. Vastaavalla tavalla kuin kaasumaisten polttoaineiden kohdalla, merkittävien CO₂-päästövähennysten saavuttamiseksi tarvitaan uusiutuvia vaihtoehtoja. **Tällä hetkellä uusiutuvat polttoaineet tarkoittavat biopolttoaineita, mutta tulevaisuudessa tarjolla voi olla myös ns. sähköpolttoaineita. Biopolttoaineisiin siirtyminen on nopea tapa vähentää CO₂-päästöjä. Parhaimpien vaihtoehtojen osalta se ei edellytä mitään muutoksia**

⁴⁴ <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkaushinnat/>

ajoneuvokalustoon tai tankkausinfrastruktuuriin, ja muutos voidaan periaatteessa tehdä ”yhdessä yössä”.

Perinteisen FAME-biodieselin käyttöön liittyy tiettyjä haasteita, varsinkin kylmissä käyttöolosuhteissa. Niinpä Suomessa ei juuri lainkaan käytetä FAME:a edes polttoainedirektiivin ja EN 590 -standardin sallimissa rajoissa (max. 7 til.-%), vaan meillä käytettävä dieselin biokomponentti on lähes yksinomaan HVO:ta. Suomessa HVO-komponentteja tuottavat sekä Neste (pääosin tuontiraaka-aineesta) että UPM (raaka-aineena sellunkeitosta syntyvä mäntyöljy).

EN 15940 -normi määrittelee ns. parafiinisen dieselpolttoaineen tuoteominaisuudet, mutta normi ei ota kantaa raaka-aineeseen (fossiilinen/uusiutuva) tai prosessiin (vetykäsittely/synteesi). Käytännössä tämä normi määrittelee 100-prosenttisen uusiutuvan HVO-dieselin ja mahdollistaa moottoreiden sertifiointin tälle polttoaineelle, mutta samalla myös muille parafiinisille polttoaineille, joiden merkintänä on XTL. Tieliikennepuolella lähes kaikki Euro VI -moottorit on hyväksytetty EN 15940/XTL -polttoaineille, ja sama pätee myös uusimpiin Stage V -työkonemoottoreihin.

EN 15940 luonnehtii parafiinista dieselpolttoainetta seuraavasti:

”Synteettisesti valmistettu tai vetykäsittelty parafiinidieselöljy. Parafiininen diesel on korkealaatuinen, puhtaasti palava polttoaine, joka on lähes rikitöntä ja aromaattivapaata. Polttoainetta voidaan käyttää dieselmootoreissa (mm. takuukysymysten kannalta käyttö edellyttää moottorinvalmistajan hyväksyntää), ja sitä voidaan käyttää myös säänneltyjen päästöjen vähentämiseen. Suurimman mahdollisen päästöhyödyn saavuttamiseksi moottorin erityinen kalibrointi saattaa olla tarpeen. Parafiininen dieselpolttoaine voi myös kontribuoida vaihtoehtoisten ja/tai uusiutuvien komponenttien käytön lisäyksiin liikennepolttoaineissa.”

HVO:n kohdalla on siis kyse drop-in-tyyppisestä uusiutuvasta hiilivetypolttoaineesta (ei sisällä happea), joka periaatteessa (moottorinvalmistajan kannasta riippuen) voi korvata tavanomaisen dieselpolttoaineen 100-prosenttisesti.

Suomessa (ja myös maailmanlaajuisesti) ensimmäinen laajamittainen uusiutuvan HVO-dieselpolttoaineen kokeilu oli VTT:n koordinoima, vuosina 2007–2010 pääkaupunkiseudun bussiliikenteessä toteutettu ”Optibio”-hanke⁴⁵. Kenttäkokeeseen osallistui noin 300 bussia joko 30-prosenttisella tai 100-prosenttisellä HVO-polttoaineella (Nesteen uusiutuva diesel, tuolloin nimellä NExBTL). Pakokaasutestejä tehtiin yhteensä 17 bussilla. Kaikkinensa hanke onnistui hyvin, eikä kentällä tullut esiin mitään erityisiä ongelmia. Hankkeen seurauksena Scania hyväksyi 100-prosenttisen NExBTL-polttoaineen käytön DC9-bussimoottoreissaan.

Vuosien 2013–2016 ”BioPilot”-hankkeessa⁴⁶ testattiin mm. UPM:n BioVerno- uusiutuvaa dieseliä henkilöauto- ja bussikalustossa. BioVernosta todettiin:

”Eri kokeissa voitiin todeta UPM BioVerno -polttoaineen korvaavan perinteistä mineraaliöljydieseliä ongelmitta. Polttoaineen kulutus ei muutu suurillakaan seospitoisuuksilla, eikä ma-teriaalikokeissa havaittu mitään epänormaaleja muutoksia tai polttoaineen pilaantumista, kuten usein käy perinteisen FAME-tyyppisen biodieselin tapauksessa.”

⁴⁵ <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2011/T2604.pdf>

⁴⁶ http://www.transsmart.fi/files/436/Uudet_dieselmoottorin_biopolttoainevaihtoehdot_BioPilot-loppuraportti_VTT-R-02415-17.pdf

Vuosien 2016–2019 ”BioSata”-hanke³⁸ kattoi myös työkoneet. Hankkeen tiivistelmässä sanotaan mm.:

”BioSata-hankkeen tavoitteena oli nopeuttaa siirtymistä kestävästi tuotettuihin biopolttoaineisiin HSL:n tilaamassa bussiliikenteessä ja Helsingin kaupungin omassa auto- ja työkonekalustossa. BioSata-hankkeen alkuperäisiä osapuolia olivat HSL, Stara, Neste, St1, UPM ja tutkimusosapuolena VTT. Alkuisysäys hankkeelle syntyi Pääkaupunkiseudun Smart & Clean -säätöön puitteissa käydyissä keskusteluissa. Säätö myös ohjasi hankkeen viestintää. Vuonna 2018 hankkeeseen liittyivät myös Espoon ja Vantaan kaupungit sekä Posti. Hanketta rahoitti työ- ja elinkeinoministeriö.

Käytännön demonstroiintiin painottuneessa BioSata-hankkeessa selvitettiin teknisten kysymysten lisäksi mm. polttoaineiden hinnoittelua ja verotuskohtelua, hankintamenettelyjä ja mahdollisia kilpailusteitä. Mittauksia ja kenttäkokeita tehtiin busseilla, kuorma-autoilla ja työkoneilla, niin laboratorio- kuin kenttämittauksina. Painopiste oli 100 %:ssa uusiutuvassa dieselpolttoaineessa. Hankkeessa tutkittiin mm. polttoaineenkulutusta, haitallisia lähipäästöjä (NO_x ja PM), polttoaineen vaikutusta huollon tarpeeseen ja yleisesti uusiutuvien polttoaineiden toimivuutta.

Projekti ei tuonut esiin mitään varsinaisia teknisiä ongelmia korkeaseosteisten biopolttoaineiden käytössä, ja omalta osaltaan projekti on lisännyt eri toimijoiden valmiuksia ottaa käyttöön biopolttoaineita. Useimmat toimijat hankkivat biopolttoaineita siten, että vuonna 2019 todelliset biopolttoaineosuudet asettuivat haarukkaan 45-55 %. Toimijoiden laskennalliset CO₂-päästöt laskivat samassa määrin. Omalta osaltaan hanke valmisti toimijoita uudistettuun puhtaiden ja energiatehokkaiden ajoneuvojen edistämistä koskevaan direktiiviin ja Suomen uuden biopolttoainevelvoitteen nouseviin bio-osuuksiin.”

BioSata-hankkeessa moottoreita koskevat vastuu- ja takuukysymykset hoidettiin niiden ajoneuvojen osalta, joille ei ollut valmistajan hyväksyntää uusiutuvan dieselpolttoaineen käytölle: Neste ilmoitti tarjoavansa 100-prosenttista uusiutuvaa dieseliä käyttäville operaattoreille back-up-takuun, mikä tarkoitti sitä, ettei tuotteen käyttämisestä aiheudu mitään ylimääräisiä riskejä.

3.4 Polttomoottoreita hyödyntävien työkoneiden energiatehokkuuden parantaminen

Polttomoottorikäyttöisen koneen energiatehokkuuteen vaikuttaa moottorin lisäksi itse koneen rakenne, miten voimansiirto on toteutettu ja minkälaisia toimilaitteita koneessa käytetään. Toiminnoissa, joissa nostetaan ja lasketaan massoja, hybridisoinnilla, ts. polttomoottorin ja sähkömoottorin rinnakkaiskäytöllä ja sen mahdollistamalla regeneraatiolla eli energian talteenotolla, voidaan saavuttaa merkittävää energiansäästöä. Säästöjä saavutetaan myös, kun koneen jarruttaminen tapahtuu sähköä avulla. Säästöpotentiaali on suurimmillaan 50 %:n luokkaa.

Työkoneissa käytettävyyden on keskeistä. Tällä on merkittävä vaikutus myös energiankulutukseen, sillä energiankulutuksen pienentäminen ja käytettävyyden voivat osittain olla vastakkain. Esimerkiksi monissa työkonesovelluksissa koneelta vaaditaan riittävän suurta omamassaa, jolla on merkittävä negatiivinen vaikutus energiankulutukseen.

Työkoneiden voimansiirrossa käytetään nykyään yleisesti hydraulikkaa, johon liittyy suuri tehotehous, mutta myös merkittäviä häviöitä. Työkoneen tasolla energiatehokkuuden parantaminen keskittyy esimerkiksi koneen moottorin (kappale 3.2) ja voimansiirron toiminnan kehittämiseen tai voimansiirron muuttamiseen joko hybriditekniikalla toteutettavaksi tai sähköiseksi, jolloin CO₂-päästöjen vähennyspotentiaali voi olla jopa 50 %.

Vastaavasti CO₂-päästöjen vähennyspotentiaali koneen käytön tehostamisella voi olla jopa 35 %, kuten kappaleessa 3.2 tuotiin esille (kuva 13). Käytön tehostaminen näkyy koneen käyttäjälle suoraan pienentyneenä polttoaineenkulutuksena sekä lisääntyneenä koneen tuottavuutena, jolloin takaisinmaksuaika on lyhyt.

Energiavarastolla varustetun sähköisen tai hybridivoimansiirron sovelluskohteeksi sopivat kustannustehokkaimmin korkean käyttöasteen työkoneet. Tällaisille koneille voimansiirron sähköistäminen tuo säästöjä, koska polttomoottori voidaan mitoittaa keskimääräisen tehon tarpeen mukaan, ja sitä voidaan ajaa parhaimman hyötysuhteen alueella ja korkeat tehopiikit voidaan ottaa energiavarastosta. Sarjahybridi ei työkonien tyypillisesti suuren energiantarpeen vuoksi välttämättä ole työkonikäytössä tehokas ratkaisu päästöjen tai energiankulutuksen pienentämiseen, mutta tämä riippuu koneen työsyklistä ja latausmahdollisuuksista.

Rinnakkaishybridin avulla voidaan toteuttaa esimerkiksi polttomoottorin ns. downsizingia, mutta koneen kuormitusprofiilista riippuu, miten suuren hyödyn rinnakkaishybridisoinnista pystyy saamaan. Mitä suurempi vaihtelu kuormituksessa on, sitä suurempi on myös potentiaalinen säästö. Suhteellisen tasaisella ja korkealla kuormituksella ajettavissa koneissa hyöty taas voi jäädä pieneksi.

Osittain päällekkäisenä keinona edellä kuvatun moottorin ja voimansiirron kehittämisen kanssa on työkonien käyttäminen energiatehokkaasti. Tähän kuuluvat esimerkiksi koneen ajaminen ja työn suorittaminen moottorin kannalta optimaalisella kierrosluvulla tai esimerkiksi joutokäynnin vähentäminen. Älykkyyden lisääminen työkonien ohjausjärjestelmiin mahdollistaa toimintoja, jotka opastavat kuljettajaa ajamaan taloudellisesti. Automatisoinnin ja älykkyyden edelleen lisääntyessä energiatehokkuutta voidaan parantaa työkonien operoinnin optimoinnilla, jolloin koneella tehtävää työtä pystytään ennakoimaan koneella ja se pystytään suorittamaan mahdollisimman energiatehokkaasti. Nostoliikettä käyttävissä koneissa voi olla mahdollista hyödyntää nostetun taakan potentiaalienergiaa ja saada energiaa otettua talteen taakan laskemisen aikana.

3.5 Koneiden varsinainen sähköistäminen

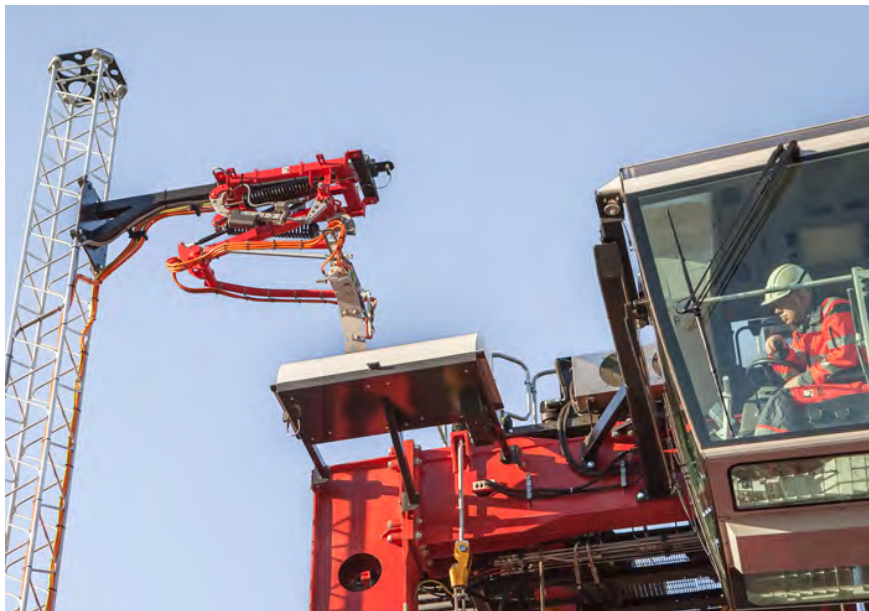
Täyssähköisten työkonien energiatehokkuus on tyypillisesti monta kertaluokkaa parempi verrattuna diesel- tai hybridivoimalinjalla varustettuihin koneisiin. Tämä johtuu sähköisen voimalinjan korkeasta hyötysuhteesta, joka on kokonaisuutena noin 70 %, kun huomioidaan koko ketju sähköön lataamisesta energiavarastoon ja sieltä pyörille siirtyvä työ. Vertailukohtana ovat pääasiassa ajotoimintoa hyödyntävät työkoneet, joissa kokonaishyötysuhde voi hydrostaattisen ajovoimansiirron kanssa jäädä jopa alle 10 prosenttiin. Enimmilläänkin dieselmoottorisen, hydrostaattisella voimansiirrolla varustetun työkonien kokonaishyötysuhde on noin 30 %.

Laskennallisesti täyssähköiset koneet lasketaan nollapäästöisiksi, koska niiden käyttämä sähköenergia kuuluu päästökauppaan.

Täyssähköisten koneiden rajoitteena on energiavarastojen energiatiheys. Tällä hetkellä akkujen energiatiheys on luokkaa 100–200 Wh/kg. Akustojen energiatiheys ei pysty kilpailemaan nestemäisten polttoaineiden energiatheyden kanssa. **Riippuen työkonesta akun paino ei välttämättä ole kuitenkaan ongelma, sillä osalta työkonista vaaditaan suurta omaa massaa (esim. trukit). Tällöin merkitsevämpää on akkupaketin vaatima tilavuus, joka asettaa haasteita sen sijoittelulle ja saattaa haitata siten näkyvyyttä.** Koneen käyttösykli, energian tarve käyttösyklin aikana ja mahdollisuudet lataamiseen käyttösyklin tauoilla määrittävätkin melko pitkälti sen, mihin sovelluksiin täyssähköinen työkone parhaiten soveltuu. Akkujen ja suurteholatauksen kehityksen myötä täys-

sähköisten koneiden mahdollisuudet laajenevat pikkuhiljaa, mutta toistaiseksi täyssähköistä konetta suunniteltaessa tarvitaan huolellista suunnittelua, jotta koneen käyttö ei häiritse normaalia työsykliä. On sovelluksia, joissa työsykli mahdollistaa lataustauot tai joihin akuston energiasisältö riittää jo nykyisin, ja näistä onkin kannattavaa aloittaa sähköistämisen pilotointi.

Täyssähköinen työkone vaatii akuston latausta, ja riippuu koneen työsyklistä ja energiantarpeesta, riittääkö yksi lataus kokonaiseen työsykliin, vai tarvitaanko välilatausta kesken työpäivän tai työvuoron. Mikäli kone pystyy toimimaan yhden työsyklin ajan ilman välilatauksia, ja työsykliä välissä on riittävän pitkä aika lataukselle, voidaan lataus tehdä hitaammalla ns. varikkolatauksella, jolloin konekohtainen latausteho voi tyypillisesti olla maltillinen. Mikäli lataus ei riitä koko työvuoroon tai työsykliin, mutta koneen työsykli tai operaattoreiden pitämät tauot mahdollistavat latauksen työsyklin aikana, tarvitaan pikalatausta, joka tyypillisesti työkoneiden tapauksessa täytyy olla suuritehoista, vähintään 150–300 kW:n tasoista. Esimerkiksi Kalmarin valmistaman täyssähköisen konttilukin lataus tapahtuu 600 kW:n teholla (kuva 16).



Kuva 16. Kalmarin valmistama täyssähköinen konttilukki käynnistämässä pikalatausta.

Kuva: Kalmar

Tyypillisesti työkoneen sähköistäminen alkaa koneen ajovoimansiirron muuttamisesta sähköiseksi. Yksinkertaisimmillaan työkoneen dieselmoottori korvataan sähkömoottorilla, ja polttoainetankin tilalle asennetaan akku. Mikäli voimansiirto moottorin akselilta pyörille on järjestetty esimerkiksi hydrostaattisesti, ei tällä rakenteella päästä kuitenkaan kovin suureen parannukseen, ja työkone joko vaatii suuren akuston, tai sen toiminta-aika on verrattain lyhyt.

Seuraava askel on vaihtaa koko ajovoimansiirto sähköiseksi ja viedä sähkömoottorin tuottama vääntömomentti mahdollisimman pienillä häviöillä suoraan renkaalle. Tällä pystytään nostamaan koneen hyötysuhdetta jo noin kaksinkertaiseksi verrattuna vastaavaan hydrostaattiseen voimalinjaan. Myös koneen hallittavuus tyypillisesti paranee sähköisen voimalinjan myötä, koska sähkömoottorin pyörintänopeutta ja vääntöä on helpompi ja nopeampi säätää kuin dieselmoottorin ja mekaanisen tai hydrostaattisen voimansiirron yhdistelmää.

Potentiaalia työkoneissa on myös itse työsykliin liittyvissä laitteistoissa, esimerkiksi nosto- tai siirtolaitteissa, jotka on useimmiten toteutettu hydraulisesti. Toistuvissa nosto- ja laskuoperaatioissa voidaan potentiaalienergian talteenotolla parantaa näiden toimilaitteiden energiatehokkuutta myös

hydraulisisissa järjestelmissä, mutta myös toimilaitteiden sähköistys alkaa olla osittain mahdollista joko sähköhydraulisilla hajautetuilla komponenteilla tai sähkömekaanisilla toimilaitteilla. Riippuu koneen työtehtävästä ja työsyklistä, miten suuri osuus energiankulutuksesta kuluu koneen siirtämiseen ja miten suuri osuus itse tehtävään työhön, esimerkiksi nostoon. Sen pohjalta määräytyy myös potentiaali siitä, miten paljon kokonaisenergiatehokkuutta voidaan saada nostettua sähköistämällä koneen toimilaitteita. Toimilaitteiden sähköistäminen on kuitenkin vielä harvinaista, joten sen potentiaali tulee realisoitumaan vasta tulevaisuudessa.

3.6 Polttokennoteknologian hyödyntäminen

Polttokennoteknologiaan perustuvilla ratkaisuilla on osoitettu olevan suuri potentiaali kumipyörillä liikkuvien laitteiden markkinoilla. Polttokenno muuntaa polttoaineen kemiallisella prosessilla sähköksi.

Tavanomaisin polttoaine liikkuvan kaluston polttokennoissa on vety, joka ilman hapen kanssa reagoitessaan tuottaa lopputuotteena sähköenergiaa ja vettä. Polttoaineeksi soveltuvat myös muut lyhyet hiilivetyketjut, kuten metanoli tai etanoli, mutta em. polttoaineilla toimivan polttokennon hyötysuhde on vetypolttoainetta matalampi. Akkusähkömalleihin verrattuna polttokennoratkaisuiden etu on energiavarastoinnissa, sillä nestemäisten polttoaineiden energiasisältö on sekä tilavuuden että massan suhteen moninkertainen esimerkiksi litiumioniakkuihin verrattuna. Tämä tarkoittaa työkohteissa käytännössä pidempiä yhtäjaksoisia työaikoja ilman että työkonetta on tarvetta ”tankata”.

Polttokennoratkaisujen kehitykseen investoidaan tällä hetkellä runsaasti kansainvälisellä tasolla, mikä näkyy usean ajoneuvo- ja moottorivalmistajan tulevaisuuden markkinasuunnitelmissa. Polttokennoratkaisusta ennustetaan erityisesti raskaan kaluston ongelmanratkojaa sovelluksissa, joiden on kuljetettava tavaraa pitkiä matkoja ja kannettava raskaita kuormia. Kompaktien polttokennojen soveltaminen mobiileissa laitteissa, kuten henkilö-, paketti- ja kuorma-autoissa, työkoneita poissulkematta, on kuitenkin vielä suhteellisen varhaisessa vaiheessa. Esimerkiksi raskaan kaluston markkinaa tarkasteltaessa selviää, että ensimmäiset varsinaiset pien- ja koesarjat ovat saapumassa markkinoille vuosien 2023–2025 aikana^{47 48 49}. Teknologian ollessa varhaisessa vaiheessa ennustetaan, että polttokennoja hyödyntävien sovellusten investointihinnat tulevat alkuaikoina olemaan merkittävän korkeat. Lisäksi esimerkiksi vähähiilisen vetypolttoaineen tuotanto sekä vedyn jakeluinfra puuttuvat tällä hetkellä käytännössä lähes kokonaan. Tosin Suomessa teollisuudessa syntyy ”jätevirtoina” jonkin verran vetyä, jota ei vielä hyödynnetä laajasti. Yksittäisten tankkausasemien luominen ei varsinaisesti aiheuttaisi esimerkiksi tässä tapauksessa pullonkaulaa, mutta vetypolttoaineen saatavuus noudattaa vetyinfran rakentamisnopeuden puolesta liikennepolttoaineeksi jalostettavan vedyn markkinakehitystä.

Kansainvälisesti vetyteknologiaa kohtaan nähdään suurta kiinnostusta, ja hiilivapaan vedyntuotannon käynnistämisestä onkin viime aikoina voinut lukea positiivisia uutisia. Viimeksi Uniper ilmoitti investoivansa tuulivoimalla toimivaan vedyntuotantolaitokseen⁵⁰.

Edellä kuvattujen tekijöiden johdosta voidaan kuitenkin arvioida, että polttokennojen mukaan ottaminen työkonetoimittajien tuoteportfolioon kestää vielä useita vuosia. Tulevaisuudessa vetypolttokennot voisivat kuitenkin tarjota potentiaalisen vaihtoehdon muiden käyttövoimien rinnalle.

⁴⁷ [Daimler Trucks unveils Mercedes-Benz fuel-cell concept truck, previews long-haul battery-electric truck: electrification strategy - Green Car Congress](#)

⁴⁸ [MAN Truck & Bus Brings CO₂-Free Mobility to the Road with its Electric and Hydrogen Roadmap - FuelCellsWorks](#)

⁴⁹ [Hyundai ships 10 XCIENT Fuel Cell heavy-duty truck to Europe for commercial use - Green Car Congress](#)

⁵⁰ <https://www.kauppaalehti.fi/uutiset/fortumin-omistama-uniper-kaynnistelee-suurta-vetyhanketta-hampurini/ad3186a7-6954-4719-82f9-e0c450fd921e>

4. Keinot vähentää satamatyökoneiden hiilidioksidipäästöjä

Kappaleen tiivistelmä

- Sataman työkoneiden CO₂-päästöjä voidaan laskea tehostamalla olemassa olevien koneiden käyttöä (mm. tyhjäkäynnin minimoiminen), toimintatapoja kehittämällä, ottamalla käyttöön uusiutuvia polttoaineita (diesel ja CBG/LBG), siirtymällä hybridi- ja akkusähköisiin työkoneisiin, ottamalla käyttöön uusia työkoneityyppejä (esim. portaalinosturit) sekä kasvattamalla automaatioastetta asteittain.
- **Helsingin Sataman keskeisimmät kannustinkeinot CO₂-päästötavoitteen saavuttamiseksi ja uusien vähähiilisten teknologioiden käytön yleistymisen nopeuttamiseksi voisivat olla**
 - uusiutuvan polttoaineen fossiilisen polttoaineen hinnan ylittävän osuuden osittainen tai täysmääräinen korvaus tai vaihtoehtoisesti alennusten myöntäminen tavaraliikenteestä perittävään satamamaksuun pohjautuen uusiutuvan polttoaineen käytöllä saavutettuun CO₂-päästövähennykseen
 - sähkökäyttöisten työkoneiden käytön kannustaminen tarjoamalla alennusta satamamaksuun pohjautuen sähkökäyttöisten työkoneiden käyttöasteeseen mitattuna esim. sähkökäyttöisillä työkoneilla siirrettyihin tavaramääriin suhteessa operaattorin kokonaismäärään
 - uusien teknologioiden, kuten akkusähköisten työkoneiden, osalta investoiminen keskeisimpien työkoneityyppien akkusähköisiin versioihin ja niiden tarjoaminen vuokralle operaattoreille käyttökokemusten kasvattamiseksi pilotointihakkeen aikana
 - siitä huolehtiminen, että tarvittavaa infrastruktuuria on saatavilla uusien CO₂-päästöjä vähentävien työkoneteknologioiden käyttöä varten, kuten sähkökäyttöisten työkoneiden latausinfrastruktuuri tai LBG/CNG-tankkausasemat.
- **Siirtymävaiheessa kohti markkinaehtoista vähähiilistä toimintaa voisi hiilidioksidipäästöjen vähentämisen kustannusten kattamista selvittää Helsingin Sataman johdolla uusien palvelumallien (esim. hiilikompensoitu palvelu) kehittämiseksi henkilö- ja rahtiliikenteeseen.**
- **Suoranaisia operaattoreita koskevia CO₂-päästöjen vähennysvaatimuksia Helsingin Satama ei näe tässä vaiheessa mielekkäinä toimina johtuen sataman kilpailuasetelmasta sekä pitkistä vuokrasopimuksista. Uusien vuokrasopimusten osalta myös tätä vaihtoehtoa tulee pohtia.**
- Tavoitteen mukaisesti absoluuttinen CO₂-päästö määrä Vuosaaren sataman työkoneilla vuonna 2035 tulisi olla noin 2 100 tCO₂. Vuonna 2019 CO₂-päästö määrä oli noin 7 467 tCO₂. Vuoden 2035 tavoitepäästötasoon nähden CO₂-päästöjä tulisi siten vähentää 5 329 tonnia, joka vastaa noin 71 %:n vähenemää.
- **Vuoden 2019 polttoaineenkulutusta ja arvioitua uusiutuvan polttoöljyn lisähintaa (+0,4 s/l) käyttäen -60 %:n CO₂-päästövähennys maksaisi noin 900 000 € vuositason, mikäli tavoite saavutettaisiin pelkästään uusiutuvalla dieselillä.**
- **Tätä työtä varten luodulla laskentamallilla arvioiden ja käyttämällä lähtöarvoina haastatteluista saatuja tietoja näyttävät lukit ja terminaalitraktorit olevan merkittävien CO₂-päästölähde: lukit noin 70 % ja terminaalitraktorit noin 20 %:**
 - Tavoitteen saavuttamiseksi keskeisintä on siten edistää vähähiilisten käyttövoimien käyttöönottoa ensisijaisesti lukeissa ja terminaalitraktoreissa.
 - Kurottajien ja trukkien merkitys CO₂-tavoitteen saavuttamisen kannalta on vähäinen.
- **Vuosaaren satama-alueen sähköverkko (17 MW) riittää hyvin kattamaan lukkien (33 kpl) ja terminaalitraktorien (56 kpl) latauksesta aiheutuvan kuorman.**

- Investoiminen täyssähköisiin, paljon energiaa kuluttaviin työkoneisiin (kuten lukit ja kurottajat), joiden vuosittainen käyttötuntimäärä on suuri, näyttäisi mahdollistavan dieseliä matalammat kokonaiskäyttökustannukset (TCO). Myös hybriditeknologia voisi mahdollistaa dieseliä matalammat kokonaiskäyttökustannukset.
- **Niiden työkoneiden osalta, joissa sähköistäminen tai hybriditeknologia ei ole kustannustehokas tai operoinnin kannalta järkevä ratkaisu, tulisi miettiä uusiutuvan moottoripolttoöljyn (MPÖ) ohella biometaanin hyödyntämistä esim. terminaalitraktoreissa. Huomiona kuitenkin jakeluvelvoitteen rajoitukset paikallisten CO₂-päästöjen vähentämiselle.**
- Operaattorikohtaisten työkoneiden operointimallien ja käyttömäärän vaihteluista johtuen ei ole mahdollista antaa kaiken kattavia suosituksia parhaan mahdollisen käyttövoiman osalta. Sen sijaan tarkastelu tulisi tehdä operaattorikohtaisesti jokaiselle työkoneetyypille erikseen.

4.1 Keinot vähentää työkoneiden suoria hiilidioksidipäästöjä

Aikaisemmissa kappaleissa on kuvattu työkoneiden tekniikkavaihtoehdot yleisellä tasolla, satamatoimintojen keskeisimmät piirteet (ml. operointimalli) sekä työkonekalusto, jota tällä hetkellä käytetään operointiin. Lisäksi on kuvattu haastatteluihin pohjautuen uusien sähköisten ja hybridityökoneiden arvioituja polttoaineenkulutussäästöjä. Nämä yhdessä käytetyn energian kanssa muodostavat kokonaisuuden, jonka seurauksena työsuorituksen kokonaishiilidioksidipäästöt muodostuvat.

Työsuoritetta voidaan pienentää kehittämällä toimintamalleja esimerkiksi kouluttamalla työkoneiden käyttäjiä tai tehostamalla operointimalleja. Esimerkkinä mainittakoon työkoneiden tyhjäkäynnin minimoiminen.

Keskeiset toimenpiteet päästöjen vähentämiseksi työkonetasolla ovat

- olemassa olevien koneiden tehostettu käyttö
- uusien toimintatapojen miettiminen esim. käytettävien työkoneiden osalta ilman käyttövoimaja infrastruktuurimuutoksia
- uusiutuvan dieselpolttoaineen käyttöönotto (soveltuu myös nykykalustoon)
- vaihtoehtoisten tekniikoiden käyttöönotto
 - satamakoneiden sähköistys
 - mahdollisesti kaasukäyttöisten koneiden käyttöönotto tietyissä kalustotyypeissä (esim. terminaalitraktorit)
 - uudet työkoneetyypit (esim. portaalinosturit)
 - automaatioasteen asteittainen korotus.

Yhtenä keinona olisi toimintojen miettiminen pidemmällä aikaikkunalla ja toimintoihin tarvittavien työkoneiden hankinta niiden tehokkaan käytettävyyden kannalta. Esimerkkinä voisi olla portaalinostureiden käyttö sekä eri asteisen automatisoinnin käytön tutkiminen ja lisääminen.

Uusiutuvien polttoaineiden sekä vaihtoehtoisten teknologioiden käytön osalta eri keinoja tarkastellaan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

4.2 Helsingin Sataman ohjaus- ja kannustinkeinot

Kappaleessa 1.3.1 esitettiin Helsingin Sataman haastattelun pohjalta heidän itsensä tunnistamia ohjauskeinoja. Lisäksi kappaleissa 1.3.2–1.3.4 kuvattiin operaattoreiden sekä yleisiä näkemyksiä keinoista, joilla toimintaa voidaan tehostaa, kuten automaation lisääminen. Tässä kappaleessa esitellään tarkemmin Helsingin Sataman mahdollisia eri ohjaus- ja kannustinkeinoja tavoitteen saavuttamiseksi.

Yleisesti perustana kannustinkeinoille tulee olla vaikuttavuuden mittaaminen (keskeisten mittareiden, kuten polttoaineenkulutuksen ja siirretyn tavaramäärän, pohjalle tarvitaan seuranta), kustannustehokkuus sekä operaattoreiden tasapuolinen kohtelu. Lisäksi kannustin-toimet eivät saisi olla sellaisia, että ne suoraan estävät tai merkittävästi hidastavat markkinaehtoisen toiminnan kehittymistä. Toisin sanoen puhtaasti tukemalla päästötavoitteiden saavuttamista on vaarana, että jaettavasta tuesta tulee pysyvä keino päästövähennyksen toteuttamiseksi. Esimerkkinä uusiutuvan MPÖ:n käytön tukeminen.

4.2.1 Kannustimet uusien teknologioiden ja polttoaineiden käyttöönottoon

Suoraviivaisin ja tällä hetkellä nopein tapa Helsingin Satamalle kannustaa satama-alueen työkoneiden hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen olisi uusiutuvan moottoripolttoöljyn käytön subventoiminen. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että Helsingin Satama korvaisi operaattoreiden käyttämän 100-prosenttisen uusiutuvan moottoripolttoöljyn tai fossiiliseen moottoripolttoöljyyn sekoitetun uusiutuvan polttoaineen käytöstä aiheutuneet lisäkustannukset kokonaan tai osittain. Haasteena on se, että operaattoreiden tulisi ilmoittaa Helsingin Satamalle hinnat, jotka ne maksavat fossiilisesta ja uusiutuvasta MPÖ:stä, jotta lisähinta voidaan määrittää. Lisähinta ei välttämättä ole sama kaikilla operaattoreilla. Lisäksi keino ei suoranaisesti kannusta operaattoreita kilpailuttamaan uusiutuvan MPÖ:n toimittajaa, elleivät ne itse maksa ainakin osan lisähinnasta.

Toinen tapa kannustaa satama-alueen työkoneiden hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen olisi myöntää Vuosaaren sataman operaattoreille alennuksia satamamaksusta pohjautuen saavutettavaan hiilidioksidipäästöjen vähenemään. Tarkemmin ottaen kannustin tulisi määritellä suhteessa kunkin toimijan saavuttamaan vuotuisen CO₂-päästövähennykseen (uusiutuvan polttoaineen energiamäärä) laskettuna kyseisen toiminnon kokonaisenergiankäytöstä. Osittain vastaavanlainen menettely on jo nyt käytössä Helsingin Satamalla satamamaksujen osalta. Esimerkkinä tästä on alusten ympäristöperusteinen alennus aluskäyntimaksusta⁵¹. Tämä keino sisältäisi kannustimen uusiutuvan MPÖ:n hankinnan kilpailuttamiseen operaattorilla, kun saatu alennus perustuu käytettyyn polttoainemäärään.

Vastaavasti alennusmallia olisi mahdollista käyttää myös sähkökäyttöisten työkoneiden käytön kannustamiseen tarjoamalla alennusta satamamaksuun pohjautuen sähkökäyttöisten työkoneiden käyttöasteeseen mitattuna esim. sähkökäyttöisillä työkoneilla siirrettyihin tavaramääriin suhteessa operaattorin kokonaismäärään. Tämä malli takaisi sen, että kaikkia operaattoreita tarkasteltaisiin yhdenvertaisesti CO₂-päästötavoitteen saavuttamisen kannalta. Lisäksi alennus kannustaisi investoimaan sähkökäyttöisiin työkoneisiin. **Alennus tulisi säätää siten, että operaattorin olisi mahdollista saada alennusta ennalta määrätyn vuosimäärän ajan uuden sähkökäyttöisen työkoneen hankinnan jälkeen samalla alennuskertoimella.** Tämä antaisi operaattorille ennustettavuutta investointipäätöksen tekemiseksi. Haasteena mallissa on se, että sähkökäyttöisellä työkoneella siirretyn tavaramäärän todentamiseksi tulisi muodostaa seurantajärjestelmä.

⁵¹ [Helsingin Sataman hinnasto](#)

Uusiutuvan moottoripolttoöljyn käytön osalta subventio ja alennus tulisi säätää siten, että sen saisi käyttämällä uusiutuvaa polttoainetta 100-prosenttisena tai sekoitettuna fossiiliseen moottoripolttoöljyyn joko siten, että lopputuote täyttää EN 590- tai EN 15940 -polttoainestandardin. Alennuksen suuruus riippuisi kuitenkin uusiutuvan polttoaineen energiasisällöstä suhteessa vuotuisesti käytetyn polttoaineen kokonaisenergiamäärään. Uusiutuvan polttoaineen käyttömääriä tulisi seurata esim. vuosineljänneksittäin. Tämä menettely takaisi sen, että uusiutuvaa polttoöljyä voisi tarjota useampi uusiutuvan polttoöljyn valmistaja.

Sähkökäyttöisiä työkoneita ei ole vielä laajamittaisesti ollut käytössä. Tämän johdosta toimintatapoihin sekä sähkötyökoneiden käyttöön (mm. akkujen kapasiteetin riittävyys, operointitapa jne.) saattaa sisältyä merkittäviä kysymyksiä. Tämä nähdään yhtenä merkittävänä riskitekijänä sähkökäyttöisten työkoneiden investointipäätöksessä korkean hankintahinnan ohella (ks. kappale 1.3.2). **Sähköisten työkoneiden käytön yleistymistä Helsingin Satama voisi kuitenkin edistää investoimalla itse harkittuun määrään keskeisiä työkoneita, kuten konttilukkeihin ja terminaaliraktoreihin. Helsingin Satama voisi vuokrata investoimansa työkoneet kokeiluun operaattoreille siten, että kaikkien halukkaiden olisi mahdollista päästä kokeilemaan niitä ja oppimaan sähkötyökoneilla operoimista.** Työkoneiden vuokraus operaattoreille testiin voisi tapahtua yhteisen pilotointihankkeen sisällä järjestämällä Vuosaaren suljetulla satama-alueella toimiville operaattoreille kilpailutuksen koneiden käytöstä. **Yksi vaihtoehto voisi olla, että operaattorit tarjoaisivat kilpailutuksessa hinnan, jolla olisivat valmiita vuokraamaan koneen käyttöönsä. Suurimman tarjouksen tehnyt saisi koneen ensimmäisenä käyttöönsä. Vuokrausaika olisi esim. 1–2 vuotta kerrallaan.** Jotta kaikilla halukkailla olisi mahdollisuus vuokrata työkone, tulisi yhden toimijan vuokrausajaa rajoittaa esim. estämällä peräkkäiset vuokraukset, mikäli samaa työkonetta on tarjonnut käyttöönsä useampi operaattori. Mikäli saman tyyppisiä työkoneita olisi vuokrattavissa useampi, tulisi kilpailutuksessa estää useamman saman tyyppisen työkoneen yhtäaikainen vuokraus, mikäli kyseiselle työkoneelle on useampi tarjoaja. Tarkemmat suunnitelmat pilotointihankkeen toteutuksesta, mukaan lukien pilotoitavien koneiden vuokrauksen yksityiskohdat, tulisi suunnitella ja määritellä erillisessä esisuunnitteluhankkeessa.

Vastaavanlainen toimintamalli on luonut pohjan akkusähköisten kaupunkibussien nopealle yleistymiselle Helsingin seudun liikenteen (HSL) tilaamassa bussikalustossa. HSL toteutti vuosina 2016–2020 ePELI-hankkeen⁵², jonka pääasiallisena tavoitteena oli luoda pohja sähköbussien käytön yleistymiselle toimimalla ekosysteeminä ja kehitysalustana. Hankkeessa HSL hankki itselleen sähköbusseja, jotka luovutettiin liikenneoperaattoreille käyttöön valikoiduille bussilinjoille. Samalla tutkittiin ja kehitettiin eri latausjärjestelmien toimintaa ja soveltuvuutta erityyppiseen liikenneoperointiin. Hanke tuotti tietoa ja osaamista HSL:lle itselleen, mutta ennen kaikkea se toimi tärkeänä harjoitus- alustana operaattoreille sähköbusseilla toimimisen opetteluun.

Saman tyyppinen Helsingin Sataman ja satamaoperaattoreiden yhteinen hanke olisi mahdollista suorittaa myös Vuosaaren sataman työkoneille erillisen pilotointiohjelman sisällä. Pilotointiohjelman tavoitteena voisi olla mm. sähkötyökoneiden käyttöön tutustuminen, operointimallien kehittäminen sekä käytännön kokemusten kerääminen laajamittaista latausinfrastruktuurin rakentamista varten. **Tässä vaiheessa on lähes mahdotonta sanoa, mikä pikalataus- ja varikkolatausasemien todellinen tarve ja suhde tulee olemaan 10–15 vuoden päästä. Tämän johdosta pilotointihankkeessa olisi oivallinen mahdollisuus kerätä käyttökokemuksia erityyppisistä latausjärjestelmistä pienessä mittakaavassa, jotta laajamittaiselle latausinfrastruktuurin rakentamiselle olisi huomattavasti korkeampi valmiustaso.** Asiaa on käsitelty tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

⁵² [ePELI-hankekuvaus](#)

4.2.2 Investoinnit infrastruktuuriin

Helsingin Satamalla on tärkeä rooli uusien käyttövoimien edistämässä niiden vaatimien infrastruktuurien investoijana. Asia nousi esille myös Helsingin Sataman haastattelussa ja asia on selkeästi tunnistettu.

Uusien sähköisten, vetykäyttöisten sekä CNG/LNG:llä toimivien työkonien edistäminen vaatii käytännössä investointeja infrastruktuuriin. Sähkökäyttöisten työkonien osalta tarvitaan eritehoisia latausasemia palvelemaan eri käyttökohteita. Vastaavasti vedyn ja CNG/LNG:n osalta tarvitaan omat erilliset polttoaineenjakeluasemat. Tosin Vuosaaressa on jo käytössä Gasumin LNG-asema, joka tällä hetkellä palvelee lähinnä kuorma-autoliikennettä. Mikäli LNG/LBG tunnistetaan potentiaaliseksi vaihtoehdoksi, tulisi miettiä, voisiko jo olemassa oleva LNG-asema palvella myös satama-alueen työkonien vai tarvitaanko alueelle oma asema.

Helsingin Sataman tahtotila on vahvasti edistää ja tarjota mahdollisuus esimerkiksi juuri sähkökäyttöisten työkonien yleistymiselle rakentamalla tarvittavaa latausinfrastruktuuria. Erilaisille koneille, riippuen käyttötapauksesta, tarvitaan erilaista latausta. Esimerkiksi konttilukit, joiden energiantarve on kohtalaisen suuri, tarvitsevat täyssähköisenä täydennyslatausta useamman kerran päivän aikana. Jotta lataaminen ei häiritse toimintaa, täytyy sen tapahtua mahdollisimman suurella teholla ja automaattisilla kytkentälaitteistoilla, jotta lataukseen kytkemiseen kuluva aika voidaan myös minimoida ja lataus voidaan tehdä esimerkiksi koneen odotusaikoina. Pikalatausinfraan hajauttaminen satama-alueelle voi mahdollistaa joidenkin latausasemien käytön useamman terminaalioperaattorin kesken. Tällöin tulee kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota latausaseman varaamisen käytäntöihin ja työkonien toiminnan suunnitteluun, jotta kaikkien latausasemaa käyttävien terminaalioperaattoreiden palvelutaso säilyy hyvänä.

Suurteholataukseen tarvittavan latausinfrastruktuurin investointikustannus on laskenut viime vuosina, ja kustannustaso, ilman asennuskustannuksia, vaihtelee karkeasti välillä 500–1 000 €/kW. Suurteholatauksessa teho on raskaissa työkonissa nykytasolla noin 600 kW, mutta seuraavan tehotason standardointi on jo käynnissä, ja jo lähivuosina standardointi tulee tukemaan lataamista 1–4 MW:n tehoilla. Lataustehon nousuun on hyvä varautua jo alkuvaiheessa esimerkiksi huomioimalla, että valittu latauslaitteisto tukee tehon skaalaamista ylöspäin ja että valitulle latauspaikalle voidaan joko järjestää riittävän tehokas sähköliittymä tai paikalle saadaan varaus energiavarastolle, josta suuret huipputehot voidaan ottaa, jolloin tarvittavan sähköliittymän kokoa ei tarvitse välttämättä suurentaa lataustehon kasvaessa.

Yksi suurteholaturi kykenee palvelemaan useampia työkonien. Jos latausaika on esimerkiksi 5 minuuttia, voi yksi latausasema palvella tunnissa enintään noin 10 konetta. Lomittamalla koneiden ajoaikoja ja käyttämällä sopivaa lataustehoa ja akuston mitoitusta latausajat voidaan sovittaa myös siten, että ne osuvat esimerkiksi kuljettajien taukojen kanssa samaan aikaan. Tällöin on tärkeää huomioida, että latausaikoja voidaan porrastaa. Suurteholatauksen käyttöönotto vaatiikin hyvää etukäteissuunnittelua, jossa voidaan hyödyntää simulointia optimaalisen toimintatavan haarukomisessa sekä koneiden ja latausinfrastruktuurin mitoituksessa. Etenkin tilanteissa, jossa samaa latausinfraa käyttäisi useampi operaattori, on tärkeää suunnitella toiminta siten, että kaikkien operaattoreiden palvelutaso säilyy hyvänä. Investointien kannalta suurteholatausasemia tulisi tarvitsemaan kuitenkin melko vähän koko sataman alueella.

Suurin osa työkonista pystyy hyödyntämään työvuorojen ulkopuolista lataamista operaattoreiden varikkorakennuksiin asennettujen laatureiden avulla. Tällöin latausteho voi olla yleensä pienempi kuin suurteholatauksessa, ja se riippuu siitä, kuinka kauan kone yleensä seisoo ja mikä sen energiantarve työvuorossa on. **Yhdessä vuorossa käytettävien koneiden lataukseen on reilusti aikaa, jolloin niiden kohdalla tarvitaan vain joitakin kymmeniä kilowatteja lataustehoa yhtä**

konetta kohden. Varikkolatausinfrastruktuurin investoinnit kohdistuvat suoraan operaattoreille. Lähes kaikilla koneilla on hyvä olla oma varikkolaturi silloin, kun kone seisoo. **Sähköisen koneen hankintahintaan suhteutettuna varikkolaturin investointikustannus on pieni, ja siirtymä tapahtuu asteittain, jolloin operaattoreiden investoinnit latausinfraan tapahtuvat myös vaiheittain.**

Lataamisen määrän kasvaessa vaihtoehdoksi tulee myös toteuttaa latausinfraa sekä suurteholatausta että varikkolatausta varten kaupallisesti. Tällöin kaupallinen latausoperaattori tuo paikalle latausinfran ja ylläpitää sitä ja myy sähköä operaattoreille. Tämä vaatii käytännössä jo vakiintunutta käyttäjäkuntaa, jotta latausoperaattori saa toiminnasta kannattavaa, ja se voi olla vaihtoehtona pilottivaiheen jälkeen vastaavalla tavalla kuin HSL:n sähköbussien tilanteessa. Alkuvaiheessa voi olla järkevää, että Helsingin Satama investoi pilottivaiheen suurteholaturiin, joka voi mahdollisesti tulevaisuudessa siirtyä kaupallisen operaattorin omistukseen. Tyypillisesti tällaisessa latauspalvelusopimuksessa operaattori laskuttaa palvelusta palvelumaksua, joka tulee latausinfran tarjoajan, tässä tapauksessa Helsingin Sataman, maksettavaksi. Käytetystä sähköstä laskutetaan sitten operaattoreita kulutuksen mukaan.

Seuraavassa on tehty hyvin alustava herkkyyssanalyysi kuvaamaan latauksen järjestämiseksi tarvittavaa tehontarvetta. Oletetaan, että yksi 600 kW:n pikalaturi voi palvella 4–5 lukkia tunnissa, jos latausaika on maks. 10 minuuttia. Oletetaan, että lukin energiankulutus on 166 kWh/h. Sähköisen lukin energiankulutukseksi on arvioitu 1/3 vastaavan dieselkäyttöisen lukin energiankulutuksesta, jolle oletetaan kulutukseksi 50 l/h⁵³. Tämä oletamus pohjautuu VTT:n diesel- ja sähköbussien alustadynamometrimittauksiin. Niissä 2-akselisten dieselbussien energiankulutus hyvin vaihtelevakuorimituksisella Braunschweig-testisyklillä on noin 4 kWh/km⁵⁴, kun taas sähköbusseilla se on noin 1 kWh/km⁵⁵.

Oletetaan, että lukissa on kapasiteetiltaan 450 kWh:n akusto.

Oletetaan, että lukki operoi seuraavanlaisella noin 4 h:n operointisyklillä (vastaa kappaleessa 1.3.4 operaattoreiden kuvailemaa tyypillistä yhtäjaksoista suoritetta):

1. Täysi akku ja ajoa 55 min (energiankulutus noin 152 kWh).
2. Ladataan 6 min (ladattu energia noin 60 kWh).
3. Ajoa 55 min.
4. Ladataan 6 min.
5. Ajoa 55 min.
6. Ladataan 6 min.
7. Ajoa 55 min.
8. Pidempi tauko 45 min (esim. lounastauko), jolloin akku ladataan täyteen.

Tämän jälkeen vastaava noin 4 h:n operointisykli toistetaan.

Vuosaaren satama-alueella on yhteensä 33 lukkia. Mikäli kaikki olisivat sähköisiä ja samaan aikaan käytössä, tarvittaisiin yllä esitetyllä operointimallilla yhteensä 9 kpl 600 kW:n tehoista pikalatausasemaa.

Mikäli kaikki pikalaturit (9 x 600 kW) lataisivat yhtä aikaa, olisi hetkellinen lataustehon tarve 5,4 MW, joka on noin 7 % koko sataman tämänhetkisestä vapaasta kapasiteetista. Tämänhetkinen liittymä mahdollistaa 10 MW:n sähkötehon, josta laivojen maasähköön on varattu 2 MW. Sähköliittymän tehoa on mahdollista nostaa aina 17 MW:iin asti. Investointina

⁵³ Operaattoreiden ilmoittama kulutus diesellukille.

⁵⁴ [City bus performance evaluation](#)

⁵⁵ [Electric city bus and infrastructure demonstration environment in Espoo, Finland](#)

tällainen latausinfrastruktuuri tarkoittaisi yhteensä noin 3–5 miljoonan euron kokonaisinvestointia, kun pikalatausinfra olisi kokonaan valmiiksi rakennettu. Infran tarve kasvaa kuitenkin asteittain kaluston vaihtuessa sähköiseksi, joten investointi jakautuisi useamman vuoden ajanjaksolle.

Muiden koneiden lataus tapahtuisi pääasiassa työvuorojen ulkopuolella.

Terminaalitraktoreita on nyt 65 kpl. Oletetaan, että kaikki olisivat sähköisiä ja maksimi yhtäaikainen latausteho jakautuisi alla olevan esimerkin omaisesti:

- 1/3 lataa 200 kW:n teholla (suurimman käyttöasteen koneet, jotka pitää saada nopeasti takaisin työvuoroon)
- 1/3 lataa 100 kW:n teholla (kevyemmän käyttöasteen koneet)
- 1/3 lataa 50 kW:n teholla (yhdessä vuorossa ajettavat koneet, joiden lataamiseen on aikaa 16 h)

Yllä olevalla latauksen jaottelulla kokonaislataustehon tarpeeksi tulee 7,7 MW. Kun tämä yhdistetään lukkien 5,4 MW:n lataustehon tarpeeseen, on tarvittava yhteisteho maksimissaan noin 13 MW.

Nykyisellään Vuosaaren suljetulle satama-alueelle tuleva sähkölinja tukee 17 MW:n tehoa, joka siis tämän hyvin alustavan laskelman perusteella riittäisi kattamaan kaikkien lukkien ja terminaalitraktorien korvaamisen täyssähköisillä.

Edellä laskettu karkea huipputeho voi toteutua tilanteessa, jossa kaikki laturit ovat aktiivisina yhtä aikaa. Tämä ei ole todennäköinen tilanne, vaan pahin mahdollinen piikkiteho. Keskimääräinen teho jää pienemmäksi, ja huipputehoa on mahdollista vielä leikata joko kulutusjouston tai paikallisten energiavarastojen avulla. Tarkemman laskelman laatiminen vaatisi nykyistä kalustoa koskevia yksityiskohtaisia kulutuslukemia sekä tarkempia tietoja eri työkoneiden operointisykleistä ja sähköisten koneiden kulutuksesta operaattorikohtaisesti. Edellä laskettu arvio on luultavasti hieman yläkanttiin.

HVO-pohjaiset uusiutuvat dieselit ovat tarvittavan infrastruktuurin osalta poikkeus, sillä ne ovat ns. drop-in-polttoaineita ja periaatteessa sekoitettavissa tavallisen EN 590 -dieselin kanssa 0–100 %:n sekoitussuhteella polttoaineesta riippuen. Ne täyttävät moottorin valmistajan polttoaineelle asettamat vaatimukset. Täten niiden käyttämiselle ei tarvita erillistä polttoaineinfrastruktuuria, vaan niitä voidaan hyödyntää käyttämällä jo olemassa olevaa infrastruktuuria.

4.2.3 Hiilijalanjäljen kustannuskompensointi

Lopullisena tavoitteena hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä tulisi olla markkinaehtoinen mekanismi, jonka avulla uusiutuvien polttoaineiden tai vaihtoehtoisten hiilidioksidipäästöjä vähentävien teknologioiden käyttö olisi vähintäänkin kustannusneutraalia operaattoreille sekä Helsingin Satamalle. Toisin sanoen hiilidioksidipäästöjen vähentämisen mahdollinen lisäkustannus olisi mahdollista sisällyttää palvelun hintaan. Pidemmällä aikavälillä tavoite tulisi olla, että vähähiilisten käyttövoimien käyttö olisi kokonaiskustannuksiltaan fossiilisten käyttövoimien käyttöä edullisempaa. Yhtenä keinona kohti kuvattua markkinaehtoista toimintaa voisi toimia alkuvaiheessa satamatoimintojen hiilijalanjäljen kustannusten kompensointi erillisenä asiakkaille tarjottuna palveluna. Kompensointipalvelun piiriin voisi sisällyttää kaikki Helsingin Sataman hallinnoitujen satamien asiakas- sekä tavaraliikenteen palvelut.

Hiilijalanjäljen kustannusten kompensointiin tähtäävä palvelu voisi olla yksinkertaisesti niin henkilöasiakkaille kuin tavaraliikenteelle tarjottava mahdollisuus ostaa palvelunsa hiilineutraalina tai osittain hiilineutraalina esim. 50-prosenttisesti tai 100-prosenttisesti kompensoituna. **Palvelun avulla olisi mahdollista kerätä varoja esim. uusiutuvan polttoaineen käytön kustantamiseksi työkohteissa ja uusien teknologioiden tai muiden hiilidioksidia vähentävien teknologioiden investointien kompensointiin.**

4.2.4 Vähähiilisten käyttövoimien käytön vaatiminen

Helsingin Sataman haastattelun perusteella suoranaisen uusiutuvien käyttövoimien käytön vaatimusta ei nähty realistisena tehtäväksi ainakaan lyhyellä tähtäimellä. Merkittävimmät syyt johtuvat satamaoperaattoreiden kanssa tehdyistä pitkistä sopimuksista, joiden avaamista kesken sopimuskauden ei nähty realistisena vaihtoehtona. Vuosaaren sataman kilpailutilanne muiden lähisatamien (esim. Hamina, Kotka ja Hanko) kanssa nähtiin myös keskeiseksi tekijäksi, jolloin lisäkustannusten siirtäminen operaattoreiden maksettavaksi nähtiin riskinä satamatoiminnan kannalta. Kuitenkin jatkossa uusien tai jo olemassa olevien vuokrasopimusten päätyttyä sopimukseen olisi mahdollista kirjata vaatimus CO₂-päästötavoitteiden saavuttamisesta.

Tämän työn puitteissa ei ollut mahdollista analysoida tarkemmin Vuosaaren sataman kilpailutilannetta ja mahdollista hintajoustoasetelmaa, sillä oletuksella, että uusiutuvien käyttövoimien käytöstä aiheutuu lisäkustannuksia sataman operaattoreille.

Tällä hetkellä ei ole tiedossa ei-päästökauppasektorin toimenpiteitä hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi, joita olisi suoraan vaadittu yksittäisiltä toimijoilta tai edes hyvin suppealta toimijajoukolta.

4.3 Satamayritysten toimenpidevaihtoehdot sekä niiden kustannus- ja päästövaikutus

Vuosaaren sataman alueella toimivien yritysten satamatyökoneiden CO₂-päästöjen vähennystavoite on sidottu vuoden 2015 päästöihin. Vuonna 2015 alueella toimivien yritysten työkoneiden CO₂-päästöt olivat noin 5 344 tonnia (tCO₂). Tämä on moottoripolttoöljyn kokonaiskulutusena noin 2,033 milj. litraa⁵⁶. Asetettu tavoite päästövähennykselle on 60 %, joka vastaa vuoden 2015 CO₂-päästömäärällä noin 3 206 tCO₂ päästöjä. Täten absoluuttinen CO₂-päästömäärä vuonna 2035 tulisi olla noin 2 138 tCO₂ päästöjä.

Vuonna 2019 Vuosaaren sataman alueella toimivien yritysten työkoneiden yhteenlaskettu moottoripolttoöljyn kokonaiskulutus oli noin 2,84 milj. litraa. CO₂-päästömääränä tämä vastaa noin 7 467 tCO₂ päästöjä. Vuoden 2035 tavoitepäästötasoon nähden CO₂-päästöjä tulisi siten vähentää 5 329 tonnia, joka vastaa noin 71 %:n vähenemää.

Moottoripolttoöljyn kulutuksen kehittymiselle tulevaisuudessa ei ole tällä hetkellä tiedossa tarkkaa arviota. Aikaisemmin kappaleessa 1.3.1 kerrottiin, että Vuosaaren satamaan johtavia meriväyliä tullaan laajentamaan, mikä mahdollistaa suuremman laivaliikennevirran satamaan. Helsingin Satama teki vuonna 2019 kaupungin pormestarin toimeksiannosta skenaariotarkastelun satamatoimintojen kehittymisestä vuoteen 2040 asti⁵⁷. Tarkastelussa oli kolme skenaariota satamatoimintojen kehittymisestä (virtojen kasvu, toimintojen keskittyminen jne.). Kaikkien kolmen skenaarion perusteella Vuosaaren sataman tavaraliikenne tulee kasvamaan. Kasvun määrä riippuu skenaarista. Lisäksi Helsingin kaupungin valtuusto päätti 3.2.2021 Eteläsataman toimintojen lakkauttamisesta ja nii-

⁵⁶ EN 590 (B0) -dieselin hiili-intensiteetti on 3.16 kg CO₂/kgpolttoaine [JEC WtW study 5](#)

⁵⁷ [HELSINGIN SATAMAN 3 SKENAARIOTA VUOTEEN 2040](#)

den siirtämisestä Katajanokalle sekä Länsisatamaan⁵⁸. Myös tällä päätöksellä voi olettaa olevan Vuosaaren liikennevirtoja kasvattava vaikutus.

Tämän työn puitteissa ei ole ollut mahdollista arvioida tarkemmin Vuosaaren sataman toiminnan ja siten työkoneneiden päästöjen kehittymistä vuoteen 2035 asti. Tämän johdosta tarkastelussa käytetään vuoden 2019 tilannetta.

4.3.1 Laskentamalli ja lähtötilanne

Käyttövoimavaihtoehtojen arvioimiseen muodostettiin laskentamalli. Laskentamallilla voidaan arvioida CO₂-päästöt ja investointi- sekä käyttökustannukset kullekin konetyypille. Lisäksi kasvihuonekaasupäästöt laskettiin polttoaineen kulutuksen kautta: suorina päästöinä (TTW) huomioitiin fossiilisen polttoaineen CO₂-, CH₄- ja N₂O-päästöt, biopolttoaineen CH₄- ja N₂O-päästöt sekä urean käytön sivutuotteena syntyvä CO₂-päästö. Malli laskee myös elinkaaripäästöt WTW-näkökulmasta huomioiden polttoaineen, akkujen sekä sähkön tuotannosta aiheutuneet päästöt.

Lähtötietoina laskentaan tarvitaan mm. työkoneneen polttoaineen ja Adbluen kulutus, vuotuiset käyttötunnit sekä investointi- ja huoltokustannus. Lisäksi voidaan arvioida investoinnin korkokanta. Tuloksena voidaan arvioida kunkin työkonetyypin kokonaiskäyttökustannukset (TCO) sekä syntyvät CO₂-päästöt eri käyttövoimilla. Näin voidaan muodostaa arvio vältetyn CO₂-päästön hinnalle.

Kustannuslaskennassa otettiin huomioon vuoden 2021 biopolttoöljyn jakeluvélvoite, joka vélvoittaa jakelijoita toimittamaan myyntiin 3 % biopolttoöljyä kevyen polttoöljyn energiasisällöstä⁵⁹. Työkoneneiden (diesel, hybridi ja sähkö) myyntihinnat pohjautuivat työkonenevalmistajien antamiin keskimääräisiin hintatietoihin. Sähkötyökoneneiden energiankulutuksen arvioitiin olevan kolmannes vastaavasta dieselkäyttöisestä työkoneneesta kappaleessa 4.2.2 esitetyn arvion mukaisesti. Satamatyökoneneiden osalta arvioitiin, että työsuorite on merkittävästi matalanopeuksisempaa ja vähemmän nopeuden muutoksia sisältävää, jolloin työkoneneen hidastaessa nopeutta liike-energian muutoksista ei ole saatavissa yhtä paljon energiaa talteen kuin kaupunkibussilla Braunschweig-syklillä.

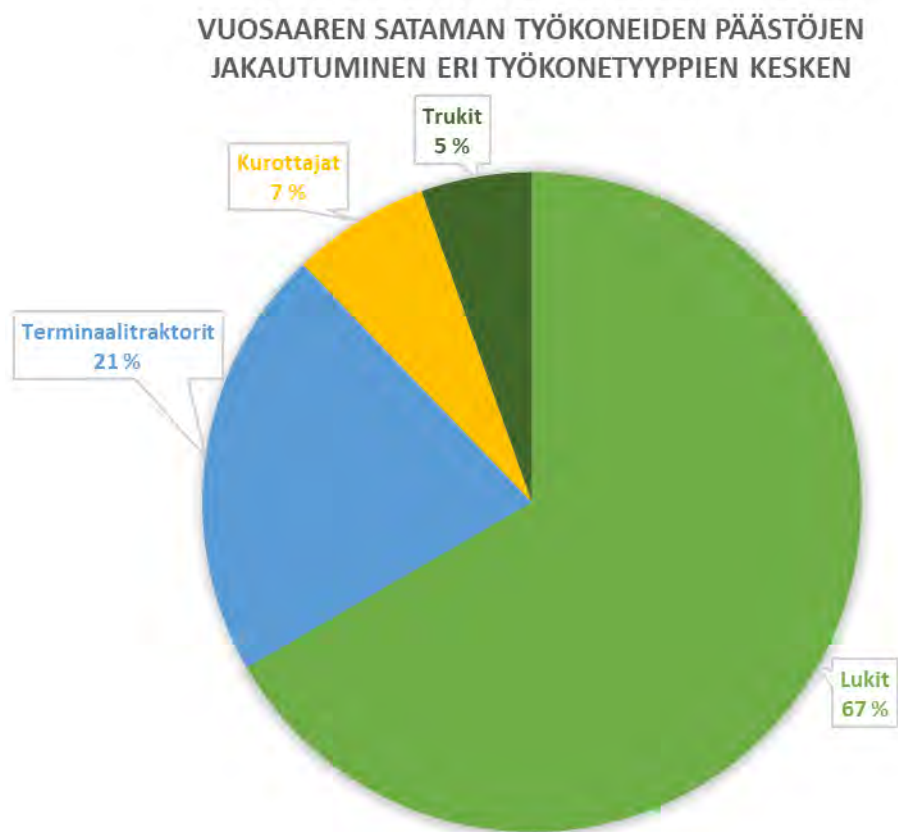
Jokaisella operaattorilla työkoneneiden käyttöprofiili sekä vuotuinen käyttömäärä ovat hiukan erilaiset. Tämän johdosta myös vuotuiset käyttötunnit sekä polttoaineenkulutus vaihtelevat operaattorista toiseen jopa samojen työkoneneiden osalta.

Laskennan lähtötietojen hankkimiseksi kysyttiin Vuosaaren sataman operaattoreilta tietoja heillä käytössä olevista työkoneneista. Tietopyyntö koski mm. työkonenetyyppejä ja niiden lukumäärää sekä työkonenetyypikohtaisia polttoaineenkulutuksia. Tietoja saatiin kuitenkin hyvin vajavaisesti, mikä vaikuttaa oleellisesti mallintamisen tarkkuuteen yllä mainituista operaattorikohtaisista eroista johtuen. Tietoja saatiin kuitenkin kaikista keskeisistä työkonenetyypeistä. Kaikille työkonenetyypeille oletettiin 10 vuoden käyttöikä.

Saadun lähtötietomateriaalin perusteella muodostettiin kuvaus nykyhetken CO₂-päästöjen jakautumisesta eri työkoneryhmien kesken (kuva 17). Kuvan perusteella voidaan néhdä, että lukit ja vetomestarit kattavat yhdessä néhes 90 % kaikista CO₂-päästöistä. Vaikka todellinen arvo eroaisi arvioidusta osuudesta, osoittaa tämä suuruusluokkaisesti sen, että CO₂-päästöjen vähentämistoimet tulee ensisijaisesti kohdentaa néiden kahden päätyypin työkoneneisiin.

⁵⁸ <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000007781681.html>

⁵⁹ Laki biopolttoöljyn käytön edistämisestä 418/2019. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190418>



Kuva 17: Eri työkonetyyppien osuudet koko sataman työkoneiden laskennallisista suorista kasvihuonekaasupäästöistä.

Uusiutuvan moottoripolttoöljyn käyttämistä tavoitteen saavuttamiseksi voidaan pitää tietynlaisena vertailutasona havainnollistamaan, mitä tavoitteen saavuttaminen kustantaa vuositasona, sillä se on täysin drop-in-tyyppinen ratkaisu myös 100-prosenttisena ja sopii käytännössä kaikkiin nykyisiin työkoneisiin eikä vaadi infrastruktuuriin muutoksia. Käyttämällä vuoden 2019 aikana käytettyä yhteenlaskettua moottoripolttoöljyn kulutusta voidaan laskea kappaleessa 2.8.5 esitettyjen hintatietojen avulla arvio vuosikustannuksesta, jonka CO₂-päästöjen vähentäminen tavoitearvoon maksaisi. Vuonna 2019 käytettiin siis noin 2,84 milj. litraa MPÖ:ä. Tämä vastaa noin 2,97 milj. litraa 100-prosenttista HVO:ta (Nesteen uusiutuva MPÖ). **Lisäkustannus kaikkien työkoneiden käyttämiselle uusiutuvalla MPÖ:llä olisi siten noin 1,5 milj. euroa vuodessa. Vastaavasti 60 %:n vähennystavoitteen saavuttaminen maksaisi arviolta noin 1 milj. euroa vuodessa.** 60 %:n vähennystavoitteen saavuttamisen kustannus vuositasona on täysin riippuvainen työkoneiden kokonaispolttoainekulutuksesta, joka on verrannollinen sataman toiminnan kokoon.

4.3.2 Eri käyttövoimien kustannusvaikutukset vältettyyn CO₂ekv-päästöön

Tässä kappaleessa on esitetty eri käyttövoimien kustannusvaikutukset vältettyyn CO₂ekv-päästöön nähden. Arviot pohjautuvat operaattoreilta ja työkonetoimittajilta saatuihin lähtötietoihin sekä käytettyihin oletuksiin (mm. polttoaineiden ja sähkön hinnat, hybridi- ja sähkötyökonien energiatehokkuus).

Tässä kappaleessa on esitetty vältetyn hiilidioksidiekvivalenttitonnin (CO₂ekv-tonnin) hinta nykytilanteessa (2020–2021) eri käyttövoimavaihtoehdoille työkonetyypeittäin verrattuna referenssinä olevaan fossiilisella MPÖ:llä toimivaan työkoneeseen. Hintojen sekä biopolttoöljyn määrän muuttuessa myös CO₂ekv-tonnin hinta muuttuu. Hintatieto tulee päivittää vuosittain uusimmilla hinta-, kulutus- ja käyttötuntitiedoilla. Taulukossa 4 esitetyistä tuloksista tulee huomioda se, että vaikka esimerkiksi yli 40-tonnisten lukkien osalta hybridivoimalinja näyttää tuottavan matalimman hinnan vältetylle CO₂-tonnille, ei niiden tuoma CO₂-päästövähennys absoluuttitasolla riitä -60 %:n tavoitteen saavuttamiseen.

Taulukko 4: Hiilidioksidiekvivalenttitonnin hinta vuosina 2020–2021 verrattuna fossiilisella MPÖ:llä toimivaan työkoneeseen.

Työkonetyyppi	Muutos	TTW päästöt (tCO ₂ ekv)	Käyttö- kustannukset	Investointi- kustannukset	Vuositason kokonais- kustannukset	TTW säästetyn CO ₂ ekv-tonnin hinta
Lukki < 40 t	Vaihto hybridiin	-31	-12 107 €	11 406 €	-701 €	-22 €
Lukki < 40 t	Vaihto täyssähköön	-105	-28 589 €	22 813 €	-5 777 €	-55 €
Lukki < 40 t	Vaihto bioon	-103	18 000 €	0 €	18 000 €	175 €
Lukki => 40 t	Vaihto hybridiin	-137	-52 968 €	11 406 €	-41 562 €	-303 €
Lukki => 40 t	Vaihto täyssähköön	-366	-100 063 €	22 813 €	-77 251 €	-211 €
Lukki => 40 t	Vaihto bioon	-360	62 999 €	0 €	62 999 €	175 €
T-traktori <= 36 t	Vaihto täyssähköön	-46	-12 702 €	18 050 €	5 348 €	115 €
T-traktori <= 36 t	Vaihto bioon	-46	7 997 €	0 €	7 997 €	175 €
T-traktori > 36 t	Vaihto täyssähköön	-63	-17 154 €	18 050 €	896 €	14 €
T-traktori > 36 t	Vaihto bioon	-62	10 800 €	0 €	10 800 €	175 €
Kurottaja => 40 t	Vaihto hybridiin	-30	-11 556 €	7 521 €	-4 035 €	-135 €
Kurottaja => 40 t	Vaihto täyssähköön	-100	-27 288 €	26 573 €	-715 €	-7 €
Kurottaja => 40 t	Vaihto bioon	-98	17 180 €	0 €	17 180 €	175 €
Trukki <= 5 t	Vaihto täyssähköön	-9	-2 502 €	12 033 €	9 531 €	1 041 €
Trukki <= 5 t	Vaihto bioon	-9	1 575 €	0 €	1 575 €	175 €
Trukki > 5 t	Vaihto hybridiin	-11	-4 056 €	9 025 €	4 969 €	473 €
Trukki > 5 t	Vaihto täyssähköön	-35	-9 577 €	12 033 €	2 456 €	70 €
Trukki > 5 t	Vaihto bioon	-34	6 030 €	0 €	6 030 €	175 €

Polttomoottorista sähköiseen voimalinjaan vaihtaminen

Työkonelakustun sähköistäminen on kustannustehokkainta paljon kuluttavilla työkoneilla. Käyttökustannukset pienenevät kaikilla työkonetyypeillä sähköiseen voimalinjaan vaihdettaessa. Täyssähköön siirtyminen pienentää käyttökustannuksia noin kaksi kertaa enemmän verrattuna hybridiin.

Sähkökäyttöinen työkone on huomattavasti energiatehokkaampi kuin polttomoottorikäyttöinen, jolloin kokonaisenergian kulutus käytössä pienenee; sähkö on myös hieman edullisempi energianlähde tarkasteltaessa hintaa per MJ käytettyä energiaa: 0,024 €/MJ vs. 0,027 €/MJ.

Investointikustannukset nousevat kaikilla työkonetyypeillä sähköiseen voimalinjaan vaihdettaessa. Hintaeron kaventuminen hillitsee investointikustannusten kasvua.

Suurimmat erot eri työkonetyyppien välillä nousevat esiin kokonaiskustannusten muutosta tarkasteltaessa. **Suurilla, yli 40 t:n lukeilla kokonaiskustannuksissa syntyy säästöä jopa 77 000 €**

työkonetta kohden vuodessa vaihdettaessa täyssähköön. Pienillä, alle 40 t:n lukeilla kokonaiskustannuksissa voi myös säästää, vaikkakin vähemmän kuin suurien lukkien tapauksessa. **Myös kurottajilla kokonaiskustannuksen muutos jää negatiiviseksi. Näin ollen säästetyn CO₂ekv-tonnin hinta on negatiivinen ts. se vähentää KHK-päästöjä ja säästää rahaa.** Lukeilla CO₂ekv-tonnin hinta vaihtelee -22...-303 €/tCO₂ekv ja kurottajilla -7...-135 €/tCO₂ekv. Sähköistyminen on erittäin kustannustehokas päästövähennyskeino satamassa toimiville lukeille ja kurottajille.

Mitä pienemmästä ja vähemmän kuluttavasta työkoneesta on kyse, sitä suurempi on sähköistymisellä säästetyn CO₂ekv-tonnin hinta. Sähköisten terminaalityökalujen sekä trukkien investointikustannukset ovat suuremmat kuin säästöt käyttökustannuksissa. **Tästä syystä sähköistyminen nostaa terminaalityökalujen kokonaisvuosikustannuksia noin 900–5 300 €/työkone/vuosi.** Trukeilla vastaavasti 5 000–9 500 €/työkone/vuosi. Näin ollen säästetyn CO₂ekv-tonnin hinta on terminaalityökaluille 14–115 €/tCO₂ekv ja trukeille 70–1 000 €/tCO₂ekv.

Siirtyminen biopolttoöljyn käyttöön

Biopolttoöljyn 100-prosenttiseen käyttöön siirtyminen nostaa käyttökustannuksia suoraan suhteessa työkoneen polttoaineenkulutukseen: suurempi kulutus vastaa suurempaa käyttökustannusten kasvua. Fossiilisen polttoöljyn ja biopolttoöljyn hintaero on laskettu olevan noin 40 snt/l; jakeluun toimitetun polttoöljyn hinnan oletetaan nousevan biojakeluvuoroituksen noustessa vuosittain ollen 10 % vuonna 2035. Investointikustannuksia biopolttoöljyn käyttöön siirtyminen ei aiheuta, sillä lähtökohtaisesti biopolttoöljy sopii käytettäväksi sellaisenaan fossiilisen dieselin/polttoöljyn sijaan.

Biopolttoöljyn käyttöönotossa onkin hyvä huomioida nousevat käyttökustannukset ja niiden kompensointi satamaoperaattoreille. Vaikutus on suuri etenkin kurottajilla ja lukeilla, joilla konekohtaiset vuosikustannukset voivat nousta jopa 63 000 euroon (lukki yli 40 t). Lukkien ja kurottajien kohdalla siirtyminen uusiutuvaan moottoripolttoöljyyn ei näyttäisi siis olevan kustannustehokasta.

Säästetyn CO₂ekv-tonnin hinta on sama kaikille työkoneille: 175 €/tCO₂ekv.

Siirtyminen biokaasun tai nesteytetyn biometaanin käyttöön

Kaasukäyttöisten työkoneiden osalta vastaavanlaista tarkastelua ei tehty johtuen lähtötietojen puutteesta. Haastatelluilla työkonevalmistajilla ei ollut tuoteportfolioissa tällä hetkellä CNG/LNG:llä toimivia työkoneita. VTT:n kaupunkibussitietokannan⁶⁰ sekä juuri valmistuvan IEA AMF Annex 57⁶¹:n tulosten pohjalta voidaan kuitenkin arvioida, että tyypillisesti kipinäsytytteisellä moottorilla varustetun CNG/LNG-moottorin energiankulutus on noin 25–30 % korkeampi kuin vastaavanlaisilla dieseltyökoneilla. Hyödyntämällä kappaleissa 2.8.5 ja 3.3.2 esitettyjä hintatietoja uusiutuvalle MPÖ:lle (+0.4 €/l) sekä CBG:lle (1,4–1,45 €/kg) voidaan suuruusluokkaisesti arvioida näitä oletuksia hyödyntäen mallia: kustannus CBG:n käytölle työkoneissa (euroa) per MJ käytettyä energiaa. **Arvioon perustuen CBG/LNG:n polttoainekustannukset voisivat olla tällä hetkellä noin 3–6 % matalammat kuin uusiutuvan MPÖ:n.** Usein CNG/LNG:llä varustettujen ajoneuvojen hankintahinta on kuitenkin suurempi kuin vastaavan dieselin. Lopullisten kokonaiskustannusten arvioimiseksi tulee siis tietää myös CNG/LNG-työkoneen hankintahinta sekä huoltokustannukset. Lisäksi tulee huomioida julkisuudessa esillä ollut jakeluvuoroituksen laajentaminen biometaanin⁶². Mikäli näin päätetään, on tällä vaikutus biometaanin kustannusrakenteeseen verotuksen sekä käytön lisääntymisen kautta.

⁶⁰ [Rakebus 2019 -projektin vuosiraportti](#)

⁶¹ [IEA AMF Annex 57: HDV Performance Evaluation -Intermediate update of Finnish subproject](#)

⁶² [Jakeluvuoroituksen laajentaminen koskemaan myös biometaanin](#)

4.3.3 Investointien vaikutus sataman työkoneiden päästöihin

Mallin laskennan mukaan lukit ovat suuripäästöisin työkoneryhmä satamassa (taulukko 5). Ne aiheuttavat 67 % kaikista suorista KHK-päästöistä. Tämä ei ole yllättävää, sillä niiden ilmoitettu polttoaineen tuntikulutus on myös suurin. Terminaalitruktorit vastaavat reilua viidennestä kaikista päästöistä. Terminaalitruktorien tuntikulutus on keskiluokkaa verrattuna muihin sataman työkoneisiin, mutta terminaalitruktoreiden lukumäärä satamassa on suuri. Kurottajien päästöt ovat vain 7 % KHK-päästöistä. Niiden tuntikulutus on suurehko, mutta operoivien koneiden lukumäärä on pieni. Vähiten KHK-päästöjä satama-alueella aiheuttavat trukit, jotka vastaavat vain 5 % kokonaispäästöistä.

*Taulukko 5: Vuosaaren sataman päästövähennystoimenpiteiden vaikutukset. *Uusiutuvan polttoaineen WTW-päästö riippuu merkittävästi käytetystä raaka-aineesta.*

Suhteellinen päästövähennys 2035 vrt. perusura		
	TTW	WTW
Lukit, hybridi	-24 %	-24 %
Lukit, täyssähkö	-65 %	-50 %
Terminaalitruktorit, täyssähkö	-21 %	-15 %
Kurottajat, hybridi	-2 %	-2 %
Kurottajat, täyssähkö	-7 %	-5 %
Trukit, hybridi	-2 %	-2 %
Trukit, täyssähkö	-5 %	-4 %
Bio, 100-prosenttinen	-98 %	-30...-90 %*

Vuosaaren sataman kontekstissa tarkasteltu toimenpiteiden tehokkuus päästöjen vähentämisen näkökulmasta vaihtelee. Päästövähennyksiä vertailtiin perusuraan vuonna 2035, eli mitä sataman ennustetut päästöt olisivat ilman mitään erillisiä toimenpiteitä. Perusuralla huomioitiin 1 %:n vuosittainen kasvu työkoneiden käyttötunneissa kuvaamaan satamatoiminnan kasvun aiheuttamaa käytön tehostumista.

Varmin tapa saavuttaa päästötavoitteet on 100-prosenttinen uusiutuvan MPÖ:n käyttö. Toisaalta on tärkeä tiedostaa, että WTW-tasolla päästövähennys ei ole yhtä suuri ja riippuu polttoaineen valmistukseen käytetyn raaka-aineen alkuperästä. Jäteperäisestä raaka-aineesta (kuten paistirasvat) valmistetulla uusiutuvalla MPÖ:llä saavutetaan lähes 90 %:n päästövähennys. **Lukkien hybridisointi taittaa päästöjä vain neljänneksen, kun taas täyssähköisillä lukeilla pelkästään KHK-päästöt vähenevät jopa -65 %. Terminaalitruktorien sähköistyminen vähentää sataman työkoneiden päästöjä vain viidenneksen. Kurottajien ja trukien sähköistymisellä on taas valitettavan pieni vaikutus kokonaispäästöihin johtuen kurottajien vähäisestä määrästä ja trukien suhteellisen matalasta kulutuksesta.** Suoria päästöjä tarkasteltaessa on todettava, että sataman päästövähennystavoitteisiin ei voida yltää joko ilman lukkien jonkinasteista sähköistymistä tai uusiutuvan MPÖ:n käyttöä. Sähköisten työkoneiden vaikutus WTW-päästöihin on liki yhtä suuri kuin vaikutus TTW-päästöihin. Sähkökäyttöisten työkoneiden osalta WTW-päästöjä voitaisiin vähentää vielä lisää käyttämällä työkoneissa uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä. Uusiutuvan MPÖ:n osalta on myös jälleen mainittava, että vaikka se laskennallisesti vähentää sitä käyttäneiden työkoneiden CO₂-päästöjä, ei se aidosti laske niitä kansallisella tasolla johtuen jakeluvelvoitteesta.

4.3.4 Muut mahdolliset toimenpiteet (kuten työkoneiden käyttö, automatisointi)

Toistuvat työtehtävät mahdollistavat automatisoinnin kehittämisen työkoneissa. Automatisoinnin oletetaan nousevan päätrendiksi työkoneissa 10–30 vuoden kuluessa, eli se on tärkeä muutosvoima sähköisten voimalinjojen kehityksessä⁶³. Automatisoinnin osalta tulee kuitenkin huomioida sen kustannusvaikutukset sataman infrastruktuuriin ja työkoneisiin. Automatisoinnilla on kuitenkin saavutettavissa säästöjä energiankulutuksessa.

⁶³ Lajunen et al. (2018): Overview of Powertrain Electrification and Future Scenarios for Non-Road Mobile Machinery

5. Tiekartta Vuosaaren sataman työkoneiden hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi

5.1 Johdanto esitettyyn tiekarttaan

Vuosaaren sataman työkoneliikenteen päästövähennyksien tiekarttatyössä sovellettiin alun perin Cambridgen yliopiston Robert Phaalin esittämää tiekarttamallia⁶⁴. Mallia on sovellettu useissa VTT:n hankkeissa ja edelleen kehitetty VTT:llä⁶⁵. Tiekarttapohja mahdollistaa tarkasteltavaan tavoitteeseen tai visioon vaikuttavien eri kokoluokan (granularity) tekijöiden huomioimisen eri hierarkkisilla tasoilla. Vuosaaren sataman työkoneliikenteen tapauksessa tasoiksi määritettiin:

1. maailmanlaajuiset trendit ja lainsäädäntö
2. kansallinen ja Helsingin kaupungin kehitys
3. teknologiat, asiakkaat ja satamaoperaattorit
4. toimenpiteet.

Tarkastelun aikaskaala jaettiin kolmeen osaan ulottuen nykyhetkestä työkoneliikenteen päästövähennyksille asetettuun tavoitevuoteen 2035.

Laadittu tiekarttapohja täytettiin VTT:n asiantuntijoiden toimesta edellä esitettyjen laskennallisten tarkastelujen, sidosryhmähaastattelujen, asiantuntija-arvioiden sekä tässä selvityksessä esitettyjen muiden asioiden yhteisvaikutuksena. Näin muodostunutta tiekarttaa tarkasteltiin ja muokattiin ensin VTT:n sisäisessä työryhmässä. Tiekarttaprosessiin tyypillisesti kuuluva eri sidosryhmien osallistaminen ja niiden näkemysten sisällyttäminen toteutettiin ohjelman osana hankkeessa 17.2.2021 järjestetyssä virtuaalilaisuudessa, johon kutsuttiin mm. Helsingin kaupungin, Helsingin Sataman ja satamaoperaattoreiden edustajia.

⁶⁴ Phaali, R. & Muller, G. (2009). An architectural framework for roadmapping: Towards visual strategy. *Technological Forecasting & Social Change* 76 (2009) 39–49.

⁶⁵ Ahlqvist, T. & Myllyoja J. (2011). Part II. Ch 3.: Roadmapping – Multilateral Support of the Strategic Work. In: *M&A as a Strategic Option – From Opportunities to New Business Creation*. Edited by Raukko, Räikkönen & Rantala. Teknologiateollisuus ry. Teknologiatieto Teknova Oy.

5.2 Tiekartta sisältäen tarkastelujaksot

Tavoite 2035: Vuosaaren sataman työkoneiden CO₂-päästöjen vähenemä 60 % vrt. vuoden 2015 taso

Maailmanlaajuiset trendit, lainsäädäntö

Kansallinen ja Helsingin kaupungin kehitys

Teknologiat, asiakkaat ja satamaoperaattorit

Toimenpiteet

2021–2022	2022–2027	2027–2035	2035–
Hiilineutraalien toimintojen kysynnän kasvu sekä energiatehokkuuden parantaminen			
Ei-PKS:n taakanjako, Nyt Suomi -39 %	Keskeisten polttoaine-direktiivien päivittäminen (mm. RED II)	Uusiutuvan energian edistäminen (EU) 2018/2001	Puhtaiden ajoneuvojen edistäminen (EU) 2019/1161
		Kuorma-autojen CO ₂ -lainsäädäntö	Mahdollinen työkoneiden CO ₂ -lainsäädäntö
Kansalliset päästövähennystavoitteet (ilmasto- ja energiastrategia (nyt 2016), hallitusohjelma, liikenne -50 %). Päivitetään 2021			
Huoltovarmuus, vaikutukset käyttövoimien ja infrastruktuurin osalta			
Uusiutuvan jakeen osuuden kasvu moottoripolttoöljyssä (3 % / 2021 – 10 % / 2030)			
Satamatoimintojen kasvu			
Työkoneteknologian kehittyminen kohti pienempiä CO ₂ -päästöjä sekä energiatehokkuuden parantaminen			
Vähähiilisten palveluiden kysynnän kasvu / CO ₂ -päästöjen hintakompensointi / todelliset CO ₂ -päästöt			
Vuosaaren kilpailutilanne keskeisten kilpailijasatamien kanssa			
Uusien teknologioiden pilotointi ja toimintamallien kehittäminen		Vaiheittainen siirtyminen markkinaehtoiseen vähähiiliseen toimintaan	
Operaatioiden mallinnus akkusähköisen työkoneen mitoittamiseksi (akut ja lataus)	Akkusähköisten työkoneiden pilotointi	Akkusähköisten työkoneiden vaiheittainen käyttöönotto	
Pilotointiin valittavien työkoneiden ja latauspisteiden valinta mallinnusten ja arviotyön pohjalta	Tarvittavien latausasemien pilotointi (pika ja tavallinen, älylatausjärjestelmät) ja operointimallit	Latausinfrastruktuurin rakentaminen palvelemaan laajempaa työkonejoukkoa	
Uusiutuvien polttoaineiden pilotointi: polttoaine- ja konetoimittajien konsultointi käytön osalta	Uusiutuvien polttoaineiden käytön pilotointi	Pilotointivaiheen kokemusten reflektointi ja tulosten huomioiminen jatkotoimissa	
Markkinakeskustelu uusien toimintamallien muodostamiseksi (hiilivapaa satamapalvelu, latausinfraan liityntäpinta sataman muuhun infrastruktuuriin, jaardinosturit)		Uusiutuvan dieselin vaiheittainen käyttöönotto	



5.3 Valittujen toimien puntarointi

Edellä esitetyn tiekartan toimenpiteet on jaoteltu kolmelle eri aika-askeleelle. Ensimmäinen aika-askel kattaa vuodet 2021–2022. Toinen kattaa vuodet 2022–2027 ja kolmas vuodet 2027–2035. VTT ehdottaa toimenpiteiden sisältävän ensimmäisen aika-askeleen aikana pilotointiohjelman tarkan suunnittelun. Toisen aika-askeleen aikana suoritettaisiin pilotointiohjelma ja kolmannen aika-askeleen aikana siirryttäisiin vaiheittain kohti markkinaehtoista toimintaa tähdäten 60 %:n CO₂-päästövähennemään vuonna 2035 vuoden 2015 tasoon verrattuna.

Valittujen toimenpiteiden päätavoitteena on kehittää toimintaa ja toimintaympäristöä siten, että päästötavoite saavutettaisiin markkinaehtoisesti. Tavoitteena on siten luoda polku kohti markkinaehtoista vähähiilisten käyttövoimien käyttöä.

Erityisesti sähkökäyttöisten työkonien osalta tarjonta ja hankintakustannus sekä teknologia itsessään tulevat mitä todennäköisemmin kehittymään positiiviseen suuntaan tämän vuosikymmenen aikana. Yhtenä merkittävänä ajurina tähän on raskaiden maantieajoneuvojen lainsäädäntö, jonka seurauksena kuorma-autoihin tulee tarjolle enenevässä määrin sähköisiä voimalinjoja. Sitä kautta sähköiset voimalinjat ja niiden teknologian kehitys tulee mitä todennäköisimmin levittymään pienellä viiveellä myös työkonisiin.

5.3.1 Valitut toimenpiteet ja niiden perustelut

Sähköiset työkonet ovat vielä hyvin uutta teknologiaa, eikä niitä ole laajamittaisesti käytössä. Tästä johtuen käyttäjillä ei ole välttämättä kattavasti käytännön kokemusta niiden toiminnasta ja vaikutuksesta operointiin. Tämä asia nousi esille myös sataman operaattoreiden haastatteluissa. Lisäksi sähköisten työkonien latausjärjestelmien osalta on tarve käyttökokemusten hankkimiselle ennen niihin tehtävää laajamittaista investointia. Haastatteluiden perusteella myös uusiutuvien polttoaineiden käytön osalta nähtiin kysymysmerkkinä lähinnä sen soveltuvuus vanhemman ikäluokan työkonisiin.

HSL:n ePELI-pilotointihankkeella on ollut merkittävä vaikutus sähköbussien yleistymiseen HSL:n liikenteessä. Tätä hyvää esimerkkiä hyödyntäen pilotointihanke nähtiin myös Vuosaaren sataman osalta tärkeänä välineenä oppia uusien käyttövoimien teknologiaa sekä uusia operointimalleja.

Pilotointihankkeen suunnitteluhanke

VTT ehdottaa siten vuosien 2021–2022 aikana pilotointihankkeen suunnitteluhanketta.

Suunnitteluhankkeen aikana tehtäisiin mm. seuraavia toimia:

- Sähkökäyttöisten työkonien operointi mallinnetaan tarvittavien akkukapasiteettien sekä latausjärjestelmien mitoittamiseksi.
- Mallintamisen ja laskelmien avulla tuotetaan tietoa pilotointiin valittavista työkonista sekä latausjärjestelmistä.
- Keskustellaan ja sovitaan uusiutuvaa MPÖ:ä toimittavien yritysten kanssa käytön demonstroimisesta.
- Kartoitetaan laajemmin uusiutuvien polttoaineiden tulevaisuuden näkymiä, vrt. kuorma-autoissa käytössä olevat teknologiat ja polttoainevaihtoehdot kuten CNG/LNG ja etanolidiesel ED95.
- Aloitetaan markkinakeskustelu uusien toimintamallien muodostamiseksi (hiilijalanjäljen kustannusten kompensointi, latausinfraan liityntäpinta muuhun sataman infraan, portaalinosturit).

Suunnitteluhankkeen päätyttyä tulisi olla selkeä suunnitelma pilotoitavista työkoneista sekä latausinfrastrasta. Kappaleessa 4.2.2 on esitetty esimerkinomaisesti konttilukille tarvittava akkukapasiteetti ja operointisykli. Jotta työkoneet osataan valita oikein (malli, akuston kapasiteetti yms.) ja vaatimukset latausinfrastralle tunnetaan, tulisi olla käyttötärpeiden ja mallinnuksen pohjalta luotuja toimintavaihtoehtoja, joita pilotoitavaiheessa olisi mahdollista kokeilla. Tavoitteena tulisi olla myös suunnitelma uusiutuvan MPÖ:n pilotoimisesta eri ikäluokan työkoneissa eri käyttöolosuhteissa. Lisäksi kartoituksen pohjalta tulisi olla laajempi näkemys siitä, mitä uusiutuvia polttoaineita hyödyntäviä teknologioita satamatyökoneiden käyttövoimaksi voisi tulevaisuudessa olla saatavilla. Vertailukohtana kuorma-autoissa käytettävät teknologiat.

Helsingin Sataman vastuulla olisi valikoitujen sähkötyökoneiden ja latausasemien hankkiminen varsinaista pilotointihanketta varten. Sähkötyökoneiden vuokraus operaattoreille voisi tapahtua kilpailuttamisen kautta kuten kappaleessa 4.2.1 esitettiin. Pilotoitavaiheessa latausinfrastruktuurin osalta tulisi harkita pikalatausasemien siirtämistä operaattoreiden toimialueelle siksi aikaa, kun niiden käytössä on pikalatausta tarvitseva sähkötyökone. Vastaavasti pilotoitavaiheessa matalamman tehon latausasemat tulisi sijoittaa kulloinkin käyttövuorossa olevan operaattorin läheisyyteen. Pilotoitavaiheessa operaattorit eivät maksaisi latausasemasta vuokraa vaan ainoastaan käyttämänsä sähköenergian kustannuksen.

Satamatoimintojen hiilijalanjäljen kompensoimiseksi tulisi selvittää, olisiko markkinoille tuotavissa matkustaja- sekä rahtiliikenteen palvelumalli, jolla CO₂-päästövähennystoimia olisi mahdollista rahoittaa.

Suunnitteluhankkeessa keskeinen vastuu olisi Helsingin Satamalla hankkeen omistajana. Vuosaaren sataman operaattoreiden rooli olisi myös keskeinen. Heidän kohdallaan tämä tarkoittaisi tiivistä yhteistyötä varsinaisen pilotointihankkeen sisällön suunnittelemiseksi ja toimintojen kehittämiseksi sekä osallistumista työkonevalmistajien ja polttoainetoimittajien kanssa käytäviin keskusteluihin. Lisäksi operaattoreilla olisi tärkeä rooli hiilijalanjäljen kustannusten kompensointiin tähtäävän palvelumallin kehittämisessä.

Varsinainen pilotointihanke

VTT ehdottaa vuosille 2022–2027 pilotointihanketta. Helsingin Satamalla olisi hankkeessa päävastuu hankkeen omistajana ja vetäjänä. Hankkeen tarkoituksena olisi kasvattaa osaamista ja ymmärrystä uusien käyttövoimien käytöstä ja niiden vaikutuksesta operointiin. Sisältönä olisi mm. seuraavia toimia:

- sähkökäyttöisten ja hybridityökoneiden pilotointia eri operaattoreiden toimesta
- pika- ja tavallisten latausasemien käytön pilotointia (käytännön kokemus tehontarpeesta, tyypistä ja sijainnista)
- sähkökäyttöisten työkoneiden eri operointimallien kokeilua ja kehittämistä
- uusiutuvien polttoaineiden käytön pilotointia
- olemassa olevien työkoneiden käytön tehostaminen
- uusien toimintamallien (mm. hiilijalanjäljen kustannuksia kompensoivan palvelun) pilotointia.

Pilotointihankkeen päätyttyä vuonna 2027 tulisi operaattoreilla olla merkittävästi kasvanut ymmärrys sähkökäyttöisillä työkoneilla operoimisesta sekä niiden tarvitseman latausinfrastruktuurin käytöstä, mitoituksista ja latauspisteiden optimaalisesta sijainnista. Konkreettisesti tämä tarkoittaa sitä, että operaattoreilla ja Helsingin Satamalla olisi selkeä näkemys tarvittavasta latausinfrastruktuurista ja sen käyttömallista sekä sähkötyökoneiden optimaalisen operoinnin vaatimuksista satama-alueelle. Tämän tiedon pohjalta Helsingin Satama pystyisi yhdessä operaattoreiden kanssa kehittämään pikalatausasemaverkostoa sekä suunnittelemaan uusien investoitavien latausasemien toimintamallia, ts. investoiko Helsingin Satama itse pikalatausasemiin

vai olisiko järkevämpää hankkia kaikki palveluna latausoperaattorilta. Ensimmäisessä vaihtoehdossa Helsingin Satama toimisi latausjärjestelmän investoijana ja vastaisi sen toiminnasta. Helsingin Satama perisi operaattoreilta käyttömaksua latausaseman käytöstä. Uusiutuvien HVO-pohjaisten dieselpolttoaineiden osalta esteet niiden käytön tieltä tulisi olla demonstrointien kautta purettuna, ts. HVO-tyyppisten dieselpolttoaineiden sopivuus ja toimivuus kaikenikäisten työkonien polttoaineena tulisi todentaa. Pilotointihankkeen aikana tulisi myös miettiä olemassa olevien koneiden käytön tehostamiseen tähtääviä toimia. Biometaanin käytön taloudellista ja teknistä käytettävyyttä tulisi selvittää valikoiduissa työkonissa, kuten esim. terminaalitraktoreissa.

Markkinoiden kehittymisestä riippuen pilotointihankkeen aikana tulisi harkita hiilijalanjäljen vähentämisen kustannusten kompensointiin tarkoitetun palvelumallin käyttöönottoa.

Pilotointihankkeen päätyttyä tulisi olla toimijakohtaisesti tarkemmin selvillä siitä, millä keinoilla hiilidioksidipäästöjen vähentäminen 60%:lla vuonna 2035 olisi saavutettavissa.

Mikäli markkinavetoista imua ei olisi syntynyt vähähiilisille satamapalveluille ja/tai sähköisten työkonien kokonaiskäyttökustannukset eivät mahdollistaisi operaattoreille niihin investoimista kappaleessa 4.2.1 esitetyistä kannustinkeinoista huolimatta, tulisi Helsingin Sataman ottaa tarvittaessa käyttöön ”perälautatoimena” uusiutuvien polttoaineiden lisäkustannuksen kompensointi. Huomioitavaa tosin on se, että kuten kappaleessa 2.1 tuotiin esille, uusiutuvan dieselin paikallinen käyttö ei tämän hetken lainsäädännöstä (jakeluvelvoite) johtuen aidosti mahdollista hiilidioksidipäästöjen vähentämistä kansallisella tasolla. Lisäksi Helsingin Sataman tulisi pohtia mahdollisuuksia lisätä uusiin satama-alueen vuokrasopimuksiin päästötavoitteen mukaiset vaatimukset.

Kaiken kaikkiaan pilotointivaiheen päätavoitteena tulisi olla Vuosaaren sataman toimintojen kehittäminen markkinaehtoisilla keinoilla kohti hiilidioksidipäästöjen vähennystavoitetta -60 % vuoden 2015 tasoon verrattuna.

Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän selvityksen ja tiekarttatyön tavoitteena oli esittää konkreettisia aikaan sidottuja toimia, joilla Vuosaaren satama-alueella toimivien työkoneiden hiilidioksidipäästöt olisi mahdollista laskea 60 %:lla vuoteen 2035 mennessä vuoden 2015 tasosta. Osana työtä suoritettiin avaintoimijahaastatteluita Vuosaaren satama-alueella toimiville yrityksille, Helsingin Satamalle, Göteborgin satamalle sekä työkonevalmistajille.

Tavoitteen mukaisesti absoluuttinen CO₂-päästö määrä Vuosaaren sataman työkoneilla vuonna 2035 tulisi olla noin 2 100 tCO₂. Vuonna 2019 CO₂-päästö määrä oli noin 7 467 tCO₂. Vuoden 2035 tavoitepäästö tasoon nähden CO₂-päästöjä tulisi siten vähentää 5 329 tonnia, joka vastaa noin 71 %:n vähenemää. **Mikäli tämä päästövähennys saavutettaisiin uusiutuvan MPÖ:n käytöllä, olisi tavoitteen saavuttamisen kustannus vuoden 2019 polttoaineenkulutuksella ja arvioidulla uusiutuvan MPÖ:n lisähinnalla (+0,4 s/l) noin 1 milj. euroa vuositasona.**

Eri työkoneiden päästövähennys- ja kustannusvaikutuksien tarkastelemista varten rakennettiin laskentamalli. Arvioiden ja haastatteluista saatuja tietoja käyttäen laskettiin arvio eri työkone tyyppien CO₂-päästöille. **Laskennan tuloksena näyttää selkeästi siltä, että merkittävimmät hiilidioksidipäästövähennystoimet tulee kohdistaa lukkeihin ja terminaali traktoreihin. Niiden CO₂-päästöt ovat selkeästi suurimmat: lukit noin 70 % ja terminaali traktorit noin 20 % kokonaispäästöistä.** Kurottajien ja trukkien merkitys CO₂-tavoitteen saavuttamisen kannalta on pieni, sillä niiden osuus on vain noin 10 %. Edellä kuvatut osuudet ovat käytettyihin tietoihin (arviot ja saadut tiedot) perustuvia arvioita, ja ne tulee ymmärtää vain suuntaa antavina.

Keskeisenä toimenpiteenä hiilidioksidipäästöjen vähennystavoitteen saavuttamiseksi nähdään uusien teknologioiden pilotointihankkeen käynnistäminen. Varsinaista pilotointihanketta edeltäisi 1–2 vuotta kestävä esisuunnitteluhanke. Tämän hankkeen aikana määritettäisiin operaattoreiden tietoihin pohjautuen mallinnuksen sekä arvioiden perusteella käyttötarpeen mukaisimmat pilotointiin valittavat työkoneet ja niiden ominaisuudet (työkoneen koko, akkujen koko jne.) sekä pilotointiin tarvittavat pika- ja varikkolatausasemat.

Varsinaisen pilotointihankkeen avulla luotaisiin operaattoreille sekä Helsingin Satamalle selkeä käsitys siitä, mitä akkusähköisillä työkoneilla operointi tarkoittaa ja mitä vaatimuksia se asettaa niillä operoinnille sekä latausinfrastruktuurille. Samalla syntyisi selkeä käsitys siitä, miten pikalatausasemat kannattaisi sijoitella ja kuinka monen operaattorin tarpeita yksi asema pystyy palvelemaan. Varsinaisen pilotointihankkeen aikana pilotoitaisiin myös uusiutuvan polttoaineen käyttöä. Ainakin siis uusiutuvaa MPÖ:ä käytettäisiin demonstroitimielessä kaikenikäisessä konekalustossa useamman vuoden ajan.

Pilotointihankkeen päätyttyä operaattoreilla olisi merkittävästi parempi käsitys siitä, mitä akkusähköisillä työkoneilla operointi tarkoittaa ja miten operointimalleja olisi mahdollisesti kehitettävä, jotta akkusähköisillä työkoneilla operointi olisi mahdollisimman laajasti toteutettavissa. Lisäksi Helsingin Satamalla olisi merkittävästi parempi näkemys tarvittavasta pikalatausinfrastruktuurista, latauspisteiden sijoittamisesta sekä toimivimmasta operointimallista, eli miten käyttökustannusten periminen operaattoreilta hoidetaan tasapuolisesti.

Alustavien laskelmien pohjalta näyttää tarkoituksenmukaisimmalta investoida täyssähköisiin, paljon energiaa kuluttaviin työkoneisiin (kuten lukit ja kurottajat), joiden vuosittainen käyttötuntimäärä on suuri, ja siten mahdollistaa dieseliä matalammat kokonaiskäyttökustannukset (TCO). Myös hybrideknologia voisi mahdollistaa dieseliä matalammat kokonaiskäyttökustannukset. Tarkemmat arviot tulee kuitenkin suorittaa operaattorikohtaisesti perustuen jokaisen operaattorin omiin kulutus- ja käyttötuntitietoihin.

Ensisijaisesti tulisi harkita lukkien ja terminaalitraktorien päivittämistä akkusähköisiin, mikäli tämä on muuten operoinnin kannalta järkevä vaihtoehto. Niiden työkoneiden osalta, joissa sähköistäminen tai hybriditeknologia ei ole kustannustehokas ratkaisu tai nykyisen kaltainen operointi ei ole lähellekään mahdollista, tulisi harkita uusiutuvan MPÖ:n ohella biometaanin hyödyntämistä. Tällaisia työkoneita ovat esim. terminaalitraktorit. **Kuitenkin on tärkeää ottaa huomioon, että uusiutuvan MPÖ:n osalta CO₂-päästöjen vähentäminen paikallisella tasolla on mahdollista, mutta tämänhetkisestä jakeluvelvoitteesta johtuen yksittäisten toimijoiden uusiutuvan polttoaineen käyttö ei vähennä kansallisen tason CO₂-päästöjä.**

Helsingin Sataman keskeisimmät kannustinkeinot CO₂-päästötavoitteen saavuttamiseksi ja uusien vähähiilisten teknologioiden käytön yleistymisen nopeuttamiseksi voisivat olla:

- **Hiilidioksidipäästöjen vähentämisen kustannusten kompensointi**
- Uusiutuvan polttoaineen fossiilisen polttoaineen hinnan ylittävän osuuden osittainen tai täysmääräinen korvaus. Vaihtoehtoisesti voitaisiin myöntää alennuksia tavaraliikenteestä perittävään satamamaksuun pohjautuen uusiutuvan polttoaineen osuuteen kokonaisenergiankulutuksesta ja sitä kautta laskettuun, käytöllä saavutettuun CO₂-päästövähennykseen.
- **Sähkökäyttöisten työkoneiden käyttöön kannustaminen myöntämällä alennusta satamamaksuun pohjautuen sähkökäyttöisten työkoneiden käyttöasteeseen mitattuna sähkökäyttöisillä työkoneilla siirrettyihin tavaramääriin suhteessa operaattorin kokonaismäärään.**
- **Akkusähköisten työkoneiden pilotoinnit**
- **Uusien teknologioiden, kuten akkusähköisten työkoneiden, osalta investoidaan keskeisimpien työkonetyyppien akkusähköisiin versioihin ja tarjotaan niitä pilotointihankkeen aikana vuokralle operaattoreille käyttökokemusten kasvattamiseksi.** Tämä pienentää operaattoreiden riskiä akkusähköisten työkoneiden perinteisiä työkoneita suurempien investointikulujen suhteen. Tarkat työkonetyypit ja -määrät pitää määritellä yhteistyössä operaattoreiden kanssa, jotta pilotit vastaavat mahdollisimman hyvin heidän tarpeitaan.
- **Energiainfrastruktuurin päivittäminen**
- Huolehditaan siitä, että tarvittavaa infrastruktuuria on saatavilla uusien CO₂-päästöjä vähentävien työkoneteknologioiden käyttöä varten, kuten sähkökäyttöisten työkoneiden latausinfrastruktuuri tai LNG/CNG-tankkausasemat. **Alustavan laskelman perusteella 33 akkusähköisen lukin samanaikaiseen operointiin tarvittaisiin 9 kpl 600 kW:n pikalatausasemia. Tarvittava teho olisi tällöin 5,4 MW. Mikäli kaikki terminaalitraktorit olisivat lisäksi akkusähkökäyttöisiä ja niitä ladattaisiin eri tehoisilla varikkolatausjärjestelmillä, olisi tarvittava teho 7,7 MW. Sähköverkolta vaadittava kokonaispiikkiteho olisi noin 13 MW.** Satama-alueen sähköverkon teho on mahdollista laajentaa nykyisestä 10 MW:sta aina 17 MW:iin asti. Täten sähköverkon kapasiteetti näyttäisi alustavan laskelman perusteella riittävän hyvin akkusähköisten lukkien sekä terminaalitraktorien operoinnille.

Tämän hetken tiedon perusteella investointikustannus arvioidulle yhdeksälle 600 kW:n pikalatausasemalle olisi suuruusluokkaa 3–5 miljoonaa euroa.

Siirtymävaiheessa kohti markkinaehtoista vähähiilistä toimintaa olisi varsinaisten kannustimien lisäksi tavoitteen mukaista pyrkiä kattamaan hiilidioksidipäästöjen vähentämisestä aiheutuvat kustannukset uusien palvelumallien (esim. hiilikompensoitu palvelu) avulla. Palvelumalleja voisi soveltaa henkilö- ja rahtiliikenteeseen, joista kerättäisiin varoja sataman hiilidioksidipäästövähennystavoitteen saavuttamiseksi.

Satama-alueen avaintoimijoita ja sidosryhmiä koskevassa kappaleessa tuotiin esille, että Vuosaaren sataman rahtiliikenteen ennustetaan kasvavan meriväyläuudistusten sekä Helsingin kaupungin ja Helsingin Sataman tekemien satamia koskevien päätösten myötä merkittävästi vuoteen 2030 mennessä. Kasvavan rahtiliikenteen painetta pyritään purkamaan eri keinoilla, joita ei ole vielä tällä hetkellä päätetty. **Vaihtoehtoja on runsaasti, eikä mitään halua vielä poissulkea. Niitä ovat esimerkiksi työvuorojen jakaminen ja automatisointi, ja pitkällä aikavälillä RTG-nostureihin siirtyminen voisi olla myös vaihtoehto.** Vuosaaren satamaympäristössä on olosuhteisiin nähden erinomaiset edellytykset vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttöönottamiseksi. Sähköinfra on tarkoin suunniteltu sataman rakentamisvaiheessa, minkä johdosta latauspisteiden luomisen valmius on kattava ja sähkönsyöttöjen kapasiteetti on erinomainen. Mahdollista biometaanin käyttöä varten löytyy sataman ulkopuolelta LNG-asema, jolloin tankkaus olisi todennäköisesti järjestettävissä myös satama-alueelle. Vuosaaren voimalaitokselle tulee myös valtakunnan verkon maakaasulinja.

Operaattorit vaikuttavat olevan avoimia uusien käyttövoimien käyttöönotolle sillä edellytyksellä, että työkonetoiminnan tehokkuus, operoitavuus ja kustannusrakenne säilyvät ennallaan. Satamaoperaattoreiden palautteen perusteella asiakkaiden vaatimusten ja tavoitteiden vaikuttavuus ympäristötekijöihin on tällä hetkellä pieni, minkä vuoksi satamatoimintaan liittyvissä uudistuksissa tulisi huomioida kustannusten ja toiminnan kannattavuuden vaikutukset. Kuitenkin tunnistettiin, että tietoisuus ympäristötekijöistä ja arvoista kasvaa koko ajan voimakkaasti. Tämä tulee mitä todennäköisimmin vaikuttamaan jo lähivuosina toimintaan.

Vertailuna Vuosaaren sataman tilanteeseen suoritettiin haastattelu myös Göteborgin satamalle. Siellä operaattorit ovat siirtyneet uusiutuviin polttoaineisiin omaehtoisesti vuoden 2020 aikana. Seuraava askel uusiutuvaan polttoaineeseen siirtymisen jälkeen on suoraan työkoneiden sähköistäminen. Nopeaa siirtymistä uusiutuvaan polttoaineeseen on edistänyt sataman operaattoreiden otollinen keskinäinen kilpailuasema, merkittävä teollisuus sataman lähialueilla sekä satamapalveluita käyttävien yritysten ympäristötietoisuus ja halu hyödyntää vähähiilisiä logistiikkapalveluita. Göteborgin satama edistää ympäristöystävällisempää työkone-toimintaa yhdessä operaattoreiden kanssa ja asian edistämiseksi on muodostettu ympäristölautakunta, joka tapaa neljännesvuosittain.

Haastatteluiden yhteydessä tuli esille Vuosaaren sataman operaattoreiden haasteellinen kilpailuasetelma sekä pitkät vuokrasopimukset Helsingin Sataman ja toimijoiden välillä. Näistä johtuen tavoitteen saavuttamiseksi ovat suoranaiset vaatimukset vaikeita toteuttaa, eivätkä ne ole välttämättä sataman toiminnan kannalta kestäviä. Tämän johdosta Helsingin Sataman asettamat kannustintoimet olisivat kestävä ja parempi ratkaisu tavoitteen saavuttamiseksi.

Kuorma-autoille ja henkilöautoille on määritelty CO₂-päästövähennystavoitte tulevaisuudelle kahdessa portaassa, vuodesta 2025 ja 2030 eteenpäin. Toistaiseksi kuitenkin työkoneiden moottoreihin kohdistuva nykyinen EU-sääntely koskee vain perinteisiä ilmansaasteita eikä energiatehokkuutta tai CO₂-päästöjä. Kuorma-autojen CO₂-päästövähennystavoite ohjaa hyvin voimakkaasti kohti vähä- ja nollapäästöisiä ratkaisuita. **On hyvin todennäköistä, että kuorma-autojen teknologian kehittyminen tulee edistämään myös työkoneiden siirtymistä kohti vähä- ja nollapäästöisiä teknologioita.**

Tällä hetkellä ajoneuvojen ja moottoreiden tyyppihyväksynnässä hiilidioksidipäästöt määritellään tailpipe-periaatteella eli ns. Tank-to-Wheel-periaatteella. Objektiivisin tapa tarkastella eri vaihtoehtoja olisi koko polttoaineketjun (ns. Well-to-Wheel) huomioiminen, jolloin uusiutuvien polttoaineiden vähähiilisyys tulisi huomioitua päästöissä.

Suomessa tieliikenteessä on ollut biopolttoaineiden jakeluvelvoite vuodesta 2008 alkaen, ja tavoite vuodelle 2029 on 30 %. Vastaavasti vuonna 2020 tuli voimaan jakeluvelvoite työkoneissa käytet-

tävän kevyen polttoöljyn osalta. **Velvoite nostaa Suomessa bionesteen osuuden moottoripolttoöljyssä asteittain 10 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä.**

Työkoneiden CO₂-päästöt määräytyvät työsuoritteiden, energian ominaiskulutuksen ja käytetyn energian hiili-intensiteetin perusteella. Täten päästöjä vähentävät toimenpiteet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

- toimenpiteet, joita voidaan soveltaa olemassa olevaan kalustoon
- toimenpiteet, jotka edellyttävät uutta konekalustoa
- toimenpiteet, jotka edellyttävät sekä uutta konekalustoa että uutta infrastruktuuria.

Uusiutuva parafiininen dieselpolttoaine (HVO) ei edellytä muutoksia työkoneisiin eikä infrastruktuuriin, ja se voidaan käytännössä ottaa käyttöön ”yhdessä yössä”. Uudet voimalinjat ovat energia-
tehokkaita. Sopivassa sovelluskohteessa uudella hybridikoneella voidaan saavuttaa jopa 50 %:n polttoaineenkulutuksen säästö ja sitä kautta vastaava CO₂-päästöjen alenema. Varsinaisiin sähkökoneisiin siirtyminen mahdollistaa huomattavan energiatehokkuuden parantamisen ja CO₂-päästöjen alentamisen. Sähköön siirtyminen edellyttää kuitenkin latausinfrastruktuurin rakentamista, eikä sähköistys välttämättä sovellu kaikkiin koneryhmiin joko teknisten tai taloudellisten rajoitteiden takia. Työkoneiden operointikyky on oleellinen osa kokonaisuutta, ja siksi uusien teknologioiden tulee tarjota samanlainen tai lähes samanlainen työskentelykyky kuin perinteisten, jotta niiden käyttö voi merkittävästi kasvaa.

Lähdeviitteet

Lähdeviitteet on esitetty sivujen alaviitteinä.

LIITE A

Vuosaaren sataman haastatteluiden tiivistelmä

Haastatellut tahot olivat:

- Helsingin Satama Oy
- Göteborgin satama
- Finnsteve Oy Ab
- Steveco Oy
- Oy Adolf Lahti Yxpila Ab
- Multi-Link Terminals Ltd Oy
- Konecranes Abp
- Kalmar
- Royal Terberg Group

Haastatteluiden keskeiset löydökset

Helsingin Satama Oy:

- Vuosaaren sataman landlord-vuokrasopimukset ovat pitkiä.
- Laivaliikenne Vuosaaren satamaan kasvaa meriväyläpäivitysten johdosta merkittävästi 2035 mennessä.
- Toimintaa joudutaan hajauttamaan ruuhkautumisen estämiseksi.
- Toimintatavat tuskin tulevat muuttumaan lähitulevaisuudessa.
 - Automaatio nähdään potentiaalisena elementtinä tietyissä työskentely-ympäristöissä.
- Sataman infra on suhteellisen uusi, ja suunnitteluprosessissa on huomioitu tarvittava sähkönsyöttö esim. latauspisteitä varten.
 - Valmius on erinomainen.

Göteborgin satama:

- Göteborg näkee uusiutuvan polttoaineen olevan nykytilassa oikea ratkaisu, täyssähkö on joka tapauksessa välttämätön ja on tätä kautta tulevaisuutta.
 - Sähkö yleistyy vuoteen 2030 mennessä, siihen mennessä pyritään vaihtamaan kaikki koneet sähköisiksi, mikäli tämä on millään tavalla kannattavaa.
- HVO on käytössä lähes kaikissa koneissa. Toiminut hyvin.
- Tärkeää olla itse esimerkillinen, jotta muut saadaan mukaan.
 - Ympäristöystävällisyys tuo imagon kannalta isoja etuja.

Vuosaaren satama-alueen operaattorit:

- Kilpailu on kovaa, kustannukset eivät saa nousta.
 - Kustannukset ja kannattavuus määrittävät sen, mitä menetelmiä ja koneita käytetään satama-alueella.
- Satama-alueella toimivat työkoneet käyttävät pelkästään fossiilista polttoöljyä.
 - HVO:ta ei olla juurikaan koneissa kokeiltu, suurimmat syyt liittyvät kustannusten kasvun riskiin ja epätietoisuuteen polttoaineen yhteensopivuudesta.
- Kalusto uusiutuu monella operaattorilla n. 5–10 vuoden tahdilla, uusiutumishaarukka on kuitenkin suurta.
- Sähkökoneiden investointikustannukset nähtiin tällä hetkellä pääasiassa liian korkeiksi.
 - Takaisinmaksuajaksi oli arvioitu tällä hetkellä n. 10 vuotta.
 - Operaattorit katsoivat, että sähkötrukkeja (pienempiä) voitaisiin ensi sijassa uusia, samoin myös muita kevyempiä työkoneita.
- Mikäli koneita halutaan alkaa sähköistämään isommissa määrin, tulisi sähkölatausinfra suunnitteluun kiinnittää erityisesti huomiota.
 - Sähköistyminen ei saa häiritä työskentelyä.

Satamatyökoneiden valmistajat:

- Työkoneita hybridivoimalinjoilla on tarjolla laajalti, ja niillä saavutetaan 20–25 %:n polttoainesäästöt.
- Akkusähköisiä työkoneita on jo tarjolla, ja valikoima lisääntyy nopeasti. Niillä saavutetaan säästöjä käyttövoimassa ja huoltokustannuksissa.
- Vetytölkkennoihin perustuvia työkoneita ei ole tarjolla vielä lähitulevaisuudessa.

Alla on tiivistelmänä yksityiskohtaisempi kuvaus kunkin haastateltavan haastattelusta.

Helsingin Satama Oy**Satamatoiminnan toiminnan kehitys**

- Vuosaaren rahtiliikenteelle odotetaan runsasta kasvua vuoteen 2035 mennessä.
 - Meriväylien kehitystoimet lisäävät liikennettä ja mahdollistavat suurempien laivojen saapumisen satamaan.
 - Etenkin konttiliikenne (kumipyöräliikenne) kasvaa.
- Satamassa on kaksi pääasiallista rahtiliikennemuotoa: kumipyörillä kuljetettavat rahat ja konttiliikenne.
- Satamatoiminnan toimintatavat ovat tällä hetkellä manuaalisia, siirrot lukeilla tai kurottajilla, terminaalien operointi tapahtuu työkoneilla, jotka pääasiassa aina vaativat kuljettajia.
 - Tulevaisuudessa kehitys voi tuoda uusia menetelmiä.
 - Rahdin ruuhkahallintaan on tulossa toimintatapojen tehostamista.
 - Automaation lisääntyminen on tulevaisuudessa keskeisessä roolissa työn tehostamisessa.
- Optimoinnissa on suuri potentiaali.
 - Tällä hetkellä toimitaan 8–16 työajan puitteissa, minkä johdosta kaluston määrä on kerralla suuri. Ajallisesti toiminta voitaisiin jakaa, mikä voisi johtaa toiminnan tehokkuuteen.
- Sähköistämisen mahdollisuuksista on selvityksiä käynnissä.
 - Infra on suhteellisen uusi. Perusratkaisut varmasti pysyvät kyseisen aikajänteen sisällä.
 - Toimintatavat tuskin tämän vuoksi kovasti muuttuvat tällä aikajänteellä.

- Sähköistämistä tulee ehdottomasti tapahtumaan, ja automaatio on teoriassa mahdollinen, mutta tähän vaadittava investointitarve on rahtiliikenteen volyymin lisääntymisestä huolimatta suuri kynnyskysymys.
- LNG:n tankkaus saattaa lisääntyä (tankkausasemia on tullut sataman läheisyyteen), mutta työkonekehitys määrää käytettävän käyttövoiman.
- Landlord-sopimukset ovat pitkiä, kymmeniä vuosia, vuokrajärjestelyt voivat olla toistaiseksi voimassa olevia.
 - Satamaoperaattoreiden liikenteen volyymi määrää sataman tuoton.
- Sähköjakelu on Helsingin sataman omistuksessa.
 - Sähköpuolella on suunniteltu infraa parhaan valmiuden saavuttamiseksi.
 - *Latauspaikat ovat kohtuullisen hyvin suoritettavissa.*
- *CO₂-päästöjakauma on: 80 % laiva, 15 % työkoneet ja raskas liikenne.*
 - *Ei ole kovin suurta synergiaa maasähköllä laivojen energiakäytön kannalta.*
 - *Molemmille täytyy löytyä omat ratkaisut.*
- Työkonepuolella sähköistymisen infran ratkaisut.

Työkonekannan kehitys

- Kilpailu on kovaa ja talous määrää tahdin, eli investointien on maksettava itsensä takaisin.
 - Taloudellinen ohjaus olisi tässä mielessä kannattava.
- *Vetomestarit tulevat **sähköistymään** (tai hybridit) alle 10 vuoden aikana koneiden työprofiilin vuoksi.*
 - *Tyhjien konttien pinkkarit myös?*
 - *Lukeissa hidas kehitys – sähköluukkien latausmahdollisuutta kohtaan on kuitenkin ollut kiinnostusta.*
 - *Markkina hoitaa energijaon muun kuin sähkön kannalta.*
 - *Kannustimia käyttämällä voitaisiin ohjata operaattoreiden toimintaa.*
- *LNG-trendi enemmän maantiekuljetuspuolella, ehkä vaihtoehtoiset drop-in-polttoaineet parempi vaihtoehto sataman työkoneisiin.*
 - *Kehitys käyttövoima-/polttoainepuolella ei ole täysin selkeä.*
- *Reagointinopeus teknologiakehitykseen avainasemassa.*
- *Infra ei saisi muodostua rajoittavaksi tekijäksi tavoitteen saavuttamiselle.*

Sataman yhteistyöt ja kannustinmenetelmät

- Satamalla on omat tavoitteet, mutta ratkaisut työkoneliikenteen päästövähennystavoitteiden täyttämiseksi ovat avoimet.
- Vastuu muutoksista on lopulta operaattoreilla.
 - Operaattorit ovat hyvinkin perillä teknologiakehityksestä.
- Kysymys kilpailuasetelman ratkaisemiseksi on hyvä, ei ole vielä olemassa mitään ratkaisua.
- Kannustinmekanismi on tällä hetkellä auki, mutta satama on avoin ratkaisuehdotuksille.
 - Latauspisteiden tarjoaminen on tällä hetkellä luontevin kannustin aloittaa.
 - Operaattoreiden laskutukseen vaikuttaminen kannusteiden kautta mahdollista.
 - Operaattorit erittäin myönteisiä kehitykseen ja pilotointiin, joten erinomaiset mahdollisuudet pilotointitoimintaan..
- RTG-uudistus on mahdollinen tilanteen mukaan.
- Satama voisi tehdä sijoituksia, jotka eivät ole suoraan taloudellisesti kannattavia.
- Sähköistymiselle kannustimien kautta hyvät mahdollisuudet.
 - Reefer-konteille vedetty sataman kustannuksella kaapelit ja varaukset.
 - Satama kustantaa muuntamot ja sähköinfrat.
- Sataman on oltava neutraali toimija, operaattorit loppukädessä päättävät toimintaan liittyvät menetelmät talous edellä.
 - Pakottavat muutokset oltava lain kautta pakottavana.
- Pitää olla rohkea mutta varovainen kannustimissa, ettei kilpailuasetelma horju.

Sähköistyminen ja sähköinfran valmius

- Latauspaikkoja ei vielä ole, liittymämahdollisuus 10 MW:n lataukselle, laajennusmahdollisuus 17 MW:iin tulevaisuudessa.
- Enimmäisteho kolminkertaistettavissa, maasähkö 2 MW:n luokkaa, enimmäisteho n. 5 MW.
 - Infra toisin sanoin erinomaista sähköistymisen näkökulmasta.
- CO₂-päästöjakauma on: 80 % laiva, 15 % työkoneet ja raskas liikenne.
- Ei ole kovin suurta synergiaa maasähköllä laivojen energiakäytön kannalta.
 - Molemmille täytyy löytyä omat ratkaisut.
- Sähköinfran valmius satamassa erinomainen.
 - Sähköinfra on jo käytännössä vedetty valmiiksi, eli liitännät ovat kytkemistä vaille valmiit.

Göteborgin satama

Yleistä

- Satama on paikallinen viranomainen, Göteborgin kaupungin omistuksessa.
- Pääasiallinen liikenne on Tanskaan ja Saksaan, ja se muodostuu auto- ja konttiliikenteestä.
 - N. 50 % Ruotsin konttiliikenteestä Göteborgin kautta.
- Ro-Ro, 40 milj. ton./vuosi, ja energiasatama (öljykuljetusta) 22 milj. ton./vuosi, 700 t konttia vuodessa.
- Landlord-malli, sopimuspohjainen, ympäristölautakunta, ohjaus on aika tiukka.
- 2030 mennessä on tarkoitus laskea KHK-päästöjä 70 %:lla (verrattuna 2010 tasoon), laivat mukaan lukien, operaattoreille.
- Tavoitteena on, että Göteborgin satama on kokonaan KHK-neutraali 2045 (Ruotsin valtiotavoitteiden mukaan).
- Satama ja valtio ovat asettaneet ympäristövelvoitteet satamatoiminnalle.
 - Vaativat työkoneilta tiettyä päästötasoa operoimiseksi.
 - Seuraavat polttoainekulutuksia yms. uusiutuvien polttoaineiden käyttöä.
 - Operaattoreilla on velvollisuus toimittaa päästö- ja kulutuslukemat sekä työkoneista että infrasta.
- Kunnianhimoisista päästövähennystavoitteista on ollut historiassa suuria etuja.
 - Näkyvyys oli ennen etu, nykyään alkaa olla oletusarvo.
- On tärkeää olla edelläkävijä, jotta voi olla esimerkki muille. Tämän kautta muut saadaan kannustettua seuraamaan samoilla jäljillä.
 - Tekivät aikanaan kalliita valmisteluja omien päästöjen laskemiseksi.
 - Satama laski omat päästönsä 70 %:iin vuonna 2015, operaattorit seurasivat vuonna 2020.

Uusiutuviin polttoaineisiin siirtyminen

- Operaattoreille suunnatut ohjeistukset liittyvät uusiutuvan polttoaineen käyttöön, ei ollut olemassa mitään järkevää vaihtoehtoa, kun päätös tehtiin. Sähkökoneet ovat tulossa. 2030 sähköistyminen realistista.
 - Päästövähennystavoitteet suunnataan myös operaattoreille.
- Uusiutuviin siirtyminen tapahtui lumipalloefektinä, sillä operaattorit yrittivät saada mediahuomiota hiilineutraalin toiminnan avulla.
 - Keskustelivat sataman kanssa uusiutuviin polttoaineisiin siirtymisestä, jotta sääntelyä ei tarvinnut tehdä.
- HVO-polttoaineet ovat toimineet hyvin. Suurimmat ongelmat liittyivät takuiden raukeamiseen. Koneet ovat suhteellisen uusia (ovat olleet vaatimuksena ympäristövelvoitteen vuoksi).
- Sähköistyminen nähdään suurimpana potentiaalina, infran valmistelu on hyvässä tilanteessa, vaikka kuorman kasvu olisi merkittävää.

Työkoneiden sähköistymisestä

- Sähkö olisi puhtaampaa kuin dieselmootoreiden käyttäminen.
 - Äänentasot vähenevät.
 - Mahdollistaisi automaation.
- Valmistajat vastuussa kehityksestä niin, että latausajat yms. olisivat järkeviä.
- Latauspisteitä voisi laittaa ympäri satamaa.
- Vedylle ei ole tarvetta – akkukoneet tehokkaampia (pitkän matkan laitteissa tärkeämpiä).
- Maakaasu/biokaasukonversio ei ole varteenotettava vaihtoehto, ehkä pieniin segmentteihin.
- Kaikki haluttaisiin tulevaisuudessa sähköistää, polttomootorit varavaihtoehtona.

Vuosaaren satamaoperaattorit

- Tällä hetkellä kaikki satama-alueella toimivat operaattorit käyttävät pääasiassa dieselkäyttöisiä työkoneita, jotka käyttävät fossiilista polttoöljyä.
- Operaattoreiden työskentely pääasiassa kahdessa vuorossa.
- Viesti oli kaikilta operaattoreilta sama: **kilpailu on kovaa ja marginaalit ovat pieniä, joten käyttökustannukset eivät saa juurikaan kasvaa.**
 - Investointien takaisinmaksun täytyy olla perusteltua.
 - Käyttökustannukset eivät saa kasvaa merkittävästi.
- Konekantojen uusiminen nähtiin tällä hetkellä tehokkaana keinona hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi.
 - Uudet koneet (Stage V) kuluttavat vanhaa kalustoa merkittävästi vähemmän sekä ovat vanhoja koneita tehokkaampia ja ergonomisempia.
 - Eräällä toimijalla vetomestareiden päivitys 10 vuotta vanhoista uusiin laski NOx-päästöjä 90 % (yksikkökohtainen).
 - Uudet trukit tuottavat 30 % vähemmän CO₂-päästöjä (yksikkökohtainen) vrt. vanhoihin koneisiin.
 - Työkoneiden uusiutumistahti luokkaa 5–10 vuotta.
- Operaattorit ovat avoimia kaikkien käyttövoimien käyttämiseen sillä edellytyksellä, että työn luonne tai tehokkuus ei kärsi eikä aiheudu negatiivista vaikutusta liiketoiminnan kannattavuuteen.
 - Mutta: eri käyttövoimien ratkaisuja (ainakin nykyteknologialla) kannattaa seurata kuitenkin hyvinkin kriittisesti.
- Uusiutuvan dieselin käytön koettiin nostavan kustannuksia.
- Sähkökoneet nähdään tällä hetkellä haasteellisiksi korkeamman investointihinnan ja käyttörajoitteiden vuoksi.
 - Pääasiassa operaattorit olivat sitä mieltä, että sähkökoneet tulevat jossain vaiheessa korvaamaan ainakin kevyemmät sähkötyökoneet.
 - Latausajat ja energiavarastointi ovat tässä ongelmallisia.
 - Eräs operaattori on testannut sähkötrukkeja, käyttöajan todettiin olevan n. 4 tuntia kerrallaan.
 - Lounas- ja kahvitaukojen aikana suoritettava lataus ei ole koko vuoron suorittamiseen tarpeeksi tehokasta.
 - Nähtiin, että kevyemmät koneet sähköistyisivät ensin, esim. haarukkatrukut yms.
 - Operaattorit katsovat, että sähkötyökoneen alkuinvestointi on korkea, mutta elinkaarikustannukset vaikuttavat (ainakin tulevaisuudessa) järkeviltä.
 - Alkuinvestointihinta n. kaksinkertainen ja takaisinmaksuaika voi olla tällä hetkellä pitkä, jopa 10 vuotta.
 - Arvioitiin, että sähkökoneet yleistyvät selvästi 2–10 vuoden akselilla.
 - Nähtiin, että terminaalikalusto voi olla parhaassa tapauksessa 10 vuoden päästä täysin sähköinen.

- Operaattoreiden asiakkaat ovat pääasiassa kiinnostuneita hiilijalanjäljen vähentämisestä.
 - Eivät suoraan kuitenkaan velvoita operaattoreita vähentämään kasvihuonekaasujaan.
 - Asiakkaat tunnistavat satamatyöskentelyn tilanteen.
- Operaattorit katsoivat, että sataman sähkösyöttöjen koko ei ole sähköistymisessä rajoite.
- Pikalataus voisi olla mahdollista taukojen välillä, mikäli tämä riittäisi akkuvarauksen ylläpitämiseen.
- Pilotointi sähkötruikin suhteen olisi kiinnostavaa.
- Sähkökoneiden työskentely tällä hetkellä ainoastaan mahdollista tasaisella pinnalla (haarukkatrukit, lukit tai muuta varastoissa työskentelevät koneet).
 - Kuitenkin vain, jos akkujen kapasiteetti riittäisi työpäivän ajaksi ja latauspisteet olisivat ajoreittien varrella.
- Satamassa osittain maankäyttöpulaa, kontteja tulisi alkaa pinota tehokkaammin.
 - Yksi operaattori ehdotti, että jossain vaiheessa kannattaisi miettiä RTG-nostureihin siirtymistä.

Satamatyökonevalmistajat

- Yleisimpiä työkoneita Suomessa tällä hetkellä ovat lukit, kurottajat, pinkkarit ja Ro-Ro-terminaalitraktorit.
- Vihreämpiä vaihtoehtoja on tulossa: hybridivoimalinjat nähdään välivaiheen ratkaisuna ja akkusähköiset työkoneet vaikuttavat tällä hetkellä potentiaalisimmilta ratkaisuilta.
- Vetypolttokennoihin pohjautuvat voimalinjat nähdään vielä epävarmoina, mutta mahdollisina tulevaisuuden ratkaisuina. Niiden vahvuuksina nähdään alhaisempi paino ja hinta sekä akkusähköisten laitteiden lataamista nopeampi tankkaus.
- Kaasuvoimalinjoja on käytössä pienemmissä työkoneissa ja niitä on tulossa myös terminaalitraktoreihin.
- Ro-Ro-terminaalitraktorien sähköistäminen on jaarditerminaalitraktoreita hankalampaa suuremmista tehontarpeista ja pienemmästä käytettävästä tilasta johtuen.
- Haastatelluista työkonevalmistajista Kalmar aikoo sähköistää koko tarjontansa vuoden 2021 aikana. Terbergillä on akkusähköinen terminaalitraktori jaardille ja heillä on hybridiversio tulossa. Konecranesilla on hybridiversiot tarjolla kaikista työkoneista sekä akkusähköinen versio 16 t:n haarukkatrukista. Seuraavaksi heiltä on tulossa akkusähköinen lukki.
- Hybridit nähdään monimutkaisina laitteina, jotka vaativat yhtä paljon huoltoa kuin polttomoottorillisetkin työkoneet. Akkusähköiset työkoneet eivät vaadi yhtä paljon huoltoa.
- Terbergin akkusähköinen terminaalitraktori ja Kalmarin suunnittelema akkusähköinen kurottaja voivat operoida jopa 10 tuntia täydellä akulla. Kalmarin kurottajan lataaminen (300 kW) kestää noin 2 tuntia.
- Kalmarin pikaladattava akkusähköinen lukki voi operoida noin tunnin täydellä akulla ja lataaminen (600 kW) kestää noin 7 minuuttia.
- Työkonevalmistajien mukaan hybridivoimalinjaiset työkoneet kuluttavat 20–25 % vähemmän polttoainetta kuin vastaavat polttomoottorilliset työkoneet.
- Ainakin osa Kalmarin työkonevalikoimasta (kurottajat, trukit, pinkkarit) voivat käyttää biopolttoaineita. Konecranesin ja Terbergin työkonevalikoiman yhteensopivuus biopolttoaineiden kanssa riippuu moottorivalmistajasta.
- Vaihtoehtoisten voimalinjojen työkoneiden hinnat ovat 15–250 % polttomoottorillisia kalliimpia, voimalinjasta ja työkoneesta riippuen.
- Lukkien eliniäksi arvioitiin 15–20 vuotta, jonka aikana niihin tehdään yhdestä kahteen peruskunnostusta.
- Terminaalitraktorien eliniäksi arvioitiin 7–10 vuotta.

- Tehokkaimmaksi keinoksi hiilijalanjäljen pienentämiseksi nähtiin sähköistäminen uusiutuvalla sähköllä.
- Konttioperaatioissa voitaisiin käyttää sähköisiä jaardinostureita ja akkusähköisiä terminaalitraktoreita päästöjen pienentämiseksi ja maankäytön tehostamiseksi, mutta suomalaisten satamien mittakaava nähtiin haasteelliseksi taloudellisuuden kannalta.